

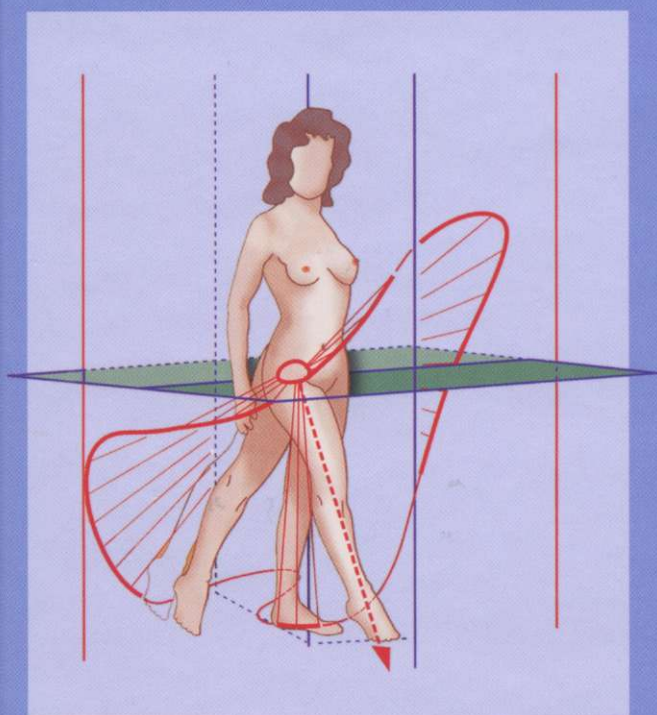
# А. И. КАПАНДЖИ

## НИЖНЯЯ КОНЕЧНОСТЬ

### Функциональная анатомия

**798** цветных  
иллюстраций

**2**



Тазобедренный сустав  
и бедро

Коленный сустав  
и голень

Голеностопный сустав

Стопа и ее свод

Биомеханика  
ходьбы

**6-е издание**

## Глава 1

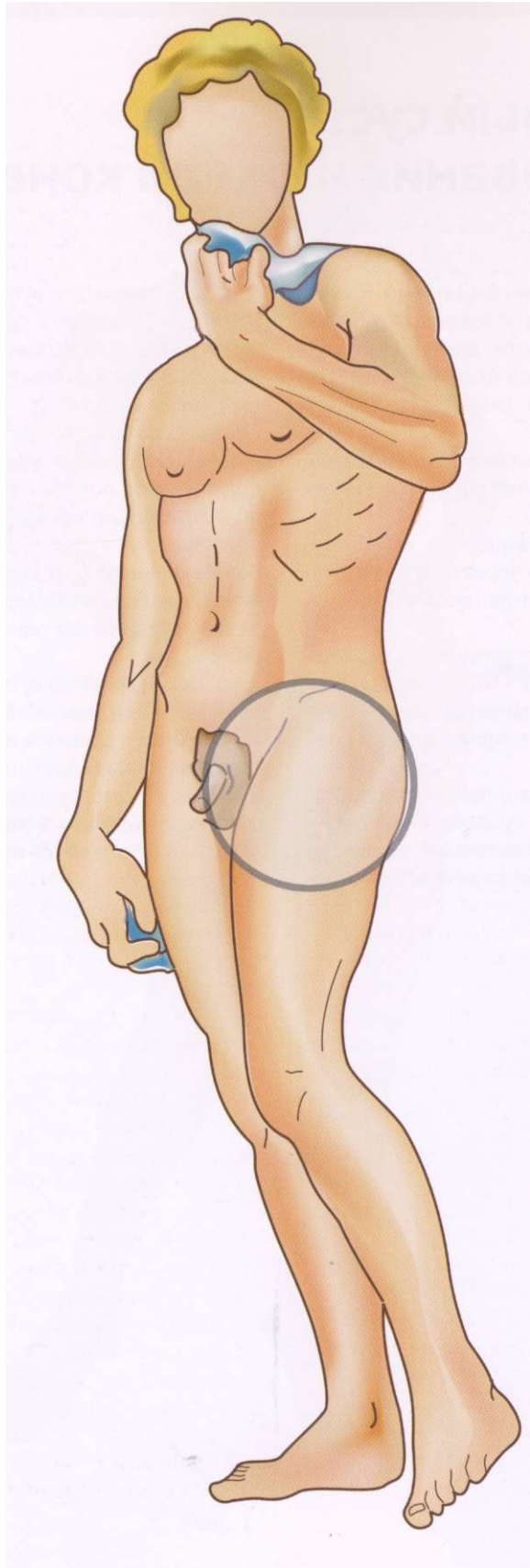
# БЕДРО. ТАЗОБЕДРЕННЫЙ СУСТАВ

При переходе от четвероногого хождения к двуногому бедро, которое составляло проксимальный сустав задней конечности, стало основой сустава нижней конечности, а проксимальный сустав передней конечности - плечевой - стал суставом верхней конечности. **Верхняя конечность** потеряла свою функцию опоры и локомоции (совокупность согласованных движений, посредством которых живое существо перемещается в пространстве), чтобы превратиться в **подвешенную конечность**, главной задачей которой благодаря развитой кисти стало **хватание**. Так верхняя конечность стала незаменимой опорой для кисти.

В то же время **нижняя конечность** сохранила свою локомотивную функцию и таким образом оказалась единственной **несущей и передвигающей конечностью**. Бедро в одиночку обеспечивает поддержание всего туловища как в статичном положении, так и в движении. Эта несущая функция глубочайшим образом изменила строение бедра.

В то время как плечо является функциональным суставным комплексом, **бедренный, или тазобедренный, сустав** самостоятельно обеспечивает **ориентацию и поддержку** нижней конечности. В связи с этим он имеет меньшую амплитуду движения, что в некоторой степени компенсируется подвижностью пояс-

ничного отдела позвоночника. Но, с другой стороны, тазобедренный сустав является наиболее стабильным из всех суставов, вывихнуть его сложнее всего. Это объясняется его функцией поддержания всего туловища и перемещения человека (локомоции). Именно с бедренного сустава началась эра *суставных протезов*, которые изменили хирургию опорно-двигательного аппарата. Этот сустав кажется наиболее простым для моделирования, поскольку форма его суставных поверхностей очень близка к сферической. Однако до сих пор возникает множество вопросов о размерах сферы; природе материала, используемого для изготовления протеза; величине коэффициента трения, сопротивления истиранию, возможной токсичности стершейся поверхности протеза, а главное - способе крепления протеза к живой кости: надо ли *герметично фиксировать* с помощью цемента или нет? (Некоторые протезы могут вторично фиксироваться благодаря реабилитации, адаптации собственных суставных поверхностей организма (*там возможно врастание костной ткани в пористую поверхность протеза. И за счет этого вторичная фиксация.* - Прим. ред.). Поэтому наибольшее количество исследований и разработок моделей проводится именно в области разработки протеза бедренного сустава.



# Тазобедренный сустав - сустав у основания нижней конечности

Тазобедренный сустав - это **проксимальный сустав нижней конечности**. Будучи расположенным у ее основания, он позволяет конечности *занимать любое положение в пространстве*. Тазобедренный сустав имеет три оси и три степени свободы движений (рис. 1):

- **поперечную ось ХОХ'**, лежащую во *фронтальной плоскости*, вокруг которой осуществляются движения **сгибания - разгибания**;
- **сагиттальную ось УОУ'**, лежащую в *переднезадней плоскости* и проходящую через центр О сустава; вокруг этой оси происходят движения **приведения - отведения**;
- **вертикальную ось ОZ**, совпадающую с *продольной осью нижней конечности* ОР, когда тазобедренный сустав находится в «выпрямленном» положении. Вокруг нее происходят **вращения** нижней конечности **внутри и наружу**.

Движения бедра осуществляются с помощью **одного-единственного тазобедренного сустава**. Это **энартроз - шаровидный сустав** со значительной степенью замыкания. В этом отношении он существенно отли-

чается от плечевого сустава - настоящего суставного комплекса, в котором лопаточно-плечевой сустав также является энартрозом, но более открытым и обладающим большей амплитудой движения за счет меньшей устойчивости.

Объем движений в тазобедренном суставе более ограничен, что отчасти удается компенсировать за счет подвижности поясничного отдела позвоночника. Этот недостаток компенсируется большой стабильностью сустава.

Тазобедренный сустав работает по типу *компрессии*, поскольку должен выдержать вес всего туловища, тогда как плечевой сустав занят элонгацией - вытягиванием.

Хоть тазобедренный сустав и имеет три оси и три степени свободы движений, как плечевой, однако он не обеспечивает большой амплитуды движения, особенно в отведении (абдукции). Поэтому мы не можем наблюдать в тазобедренном суставе феномена, равного парадоксу Кодмана в плечевом суставе. Этот псевдопарадокс (*см. том 1*) не существует для нижней конечности.

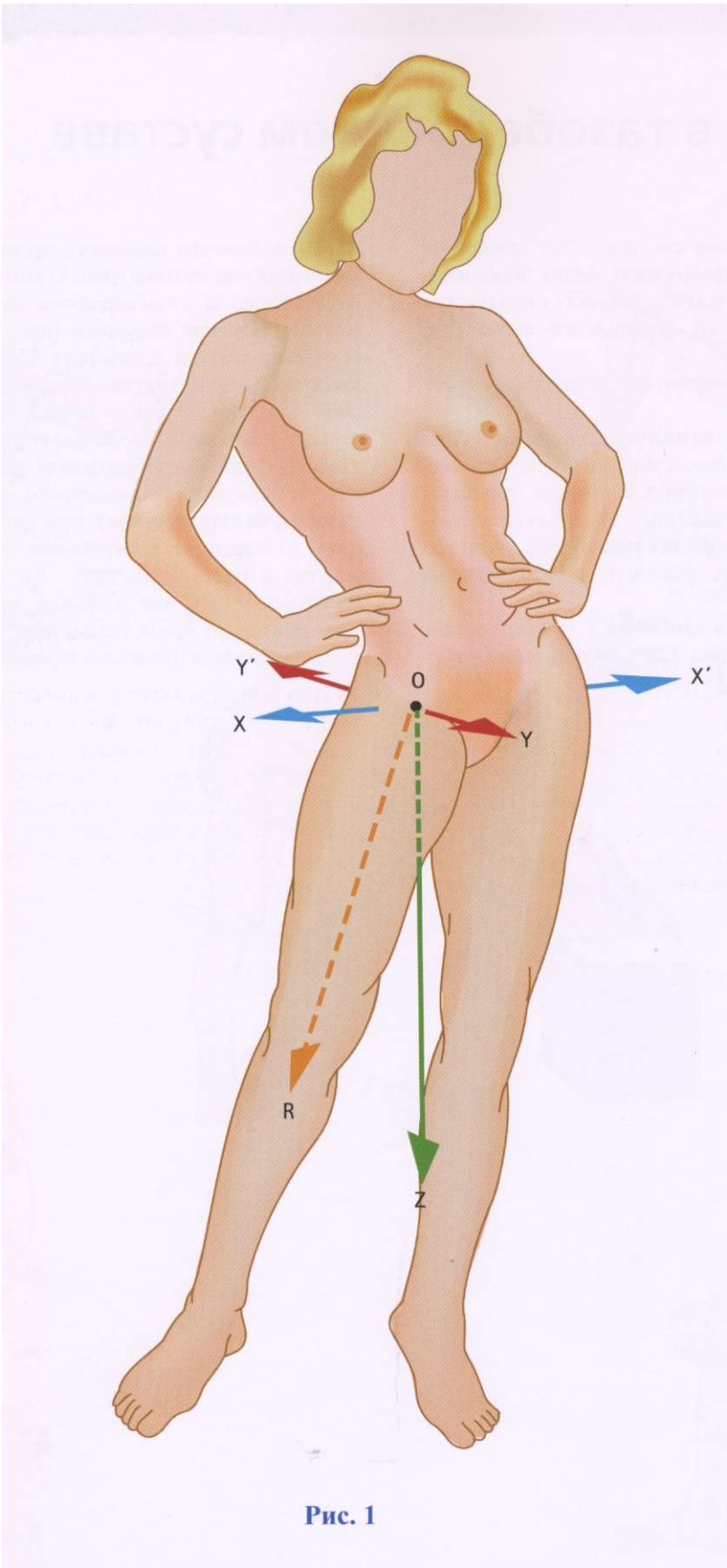


Рис. 1

# Сгибание в тазобедренном суставе

Сгибание в тазобедренном суставе - это движение, при котором передняя поверхность бедра приближается к туловищу и вся нижняя конечность оказывается расположенной впереди от фронтальной плоскости, проходящей через сустав.

**Амплитуда сгибания** зависит от следующих условий.

- В целом амплитуда **активного сгибания** бедра меньше пассивного. *Положение коленного сустава* также влияет на амплитуду сгибания: при *разогнутом* коленном суставе (рис. 2) сгибание в тазобедренном суставе достигает только  $90^\circ$ , а при *согнутом* (рис. 3) может доходить до  $120^\circ$  и даже более.
- Амплитуда **пассивного сгибания** в тазобедренном суставе всегда превышает  $120^\circ$ , но она также зави-

сит от положения коленного сустава. При *разогнутом* коленном суставе (рис. 4) амплитуда пассивного сгибания в тазобедренном суставе отчетливо меньше, чем при *согнутом* (рис. 5). В последнем случае амплитуда превышает  $140^\circ$ , и бедро почти касается грудной клетки. Далее будет показано (см. стр. 166), как сгибание колена при расслаблении сгибателей голени обеспечивает увеличение амплитуды сгибания в тазобедренном суставе.

- При осуществлении пассивного сгибания в **обоих тазобедренных суставах** при согнутых коленных (рис. 6) передние поверхности бедер приходят в контакт с грудной клеткой. Это оказывается возможным потому, что сгибание бедер сочетается с *наклоном таза кзади* вследствие уплощения поясничного лордоза (показано стрелкой).

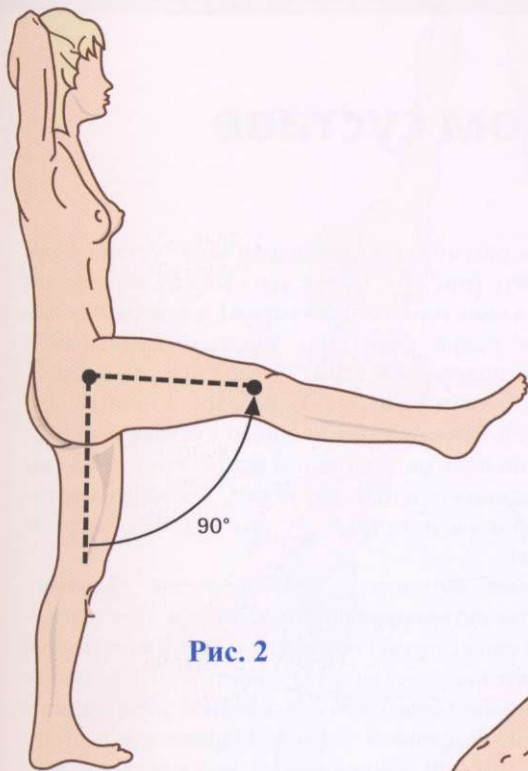


Рис. 2

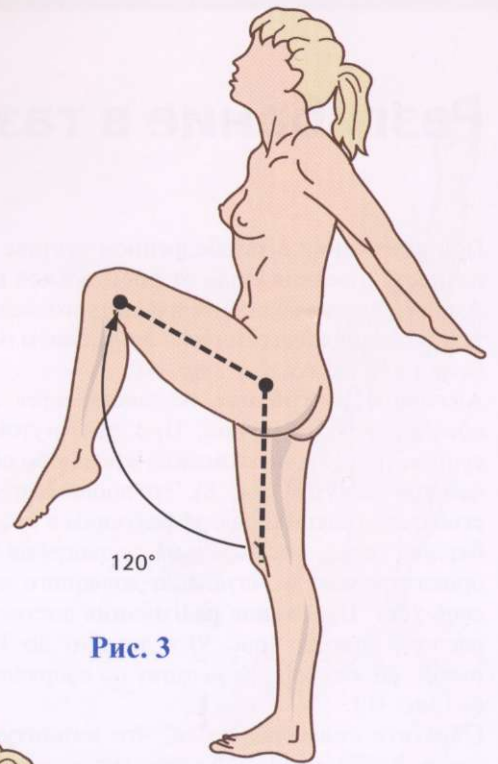


Рис. 3

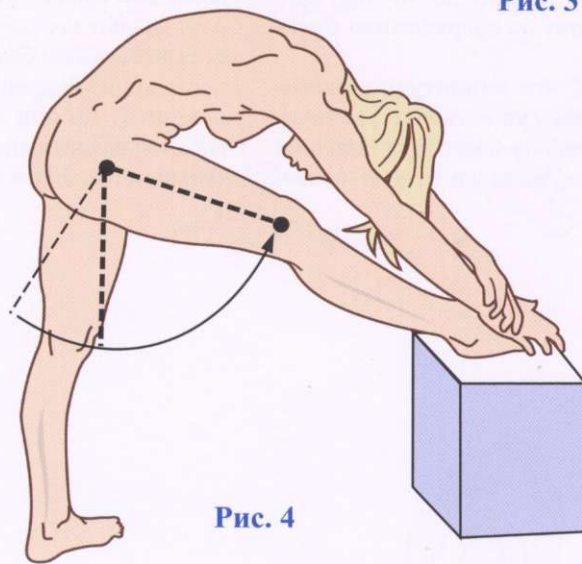


Рис. 4

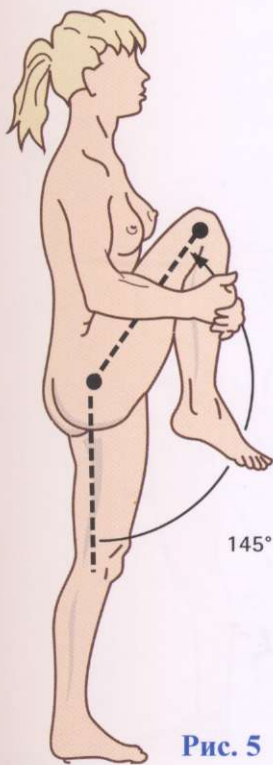


Рис. 5

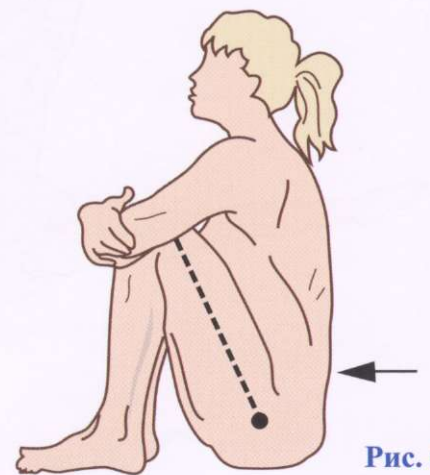


Рис. 6

# Разгибание в тазобедренном суставе

При разгибании в тазобедренном суставе нижняя конечность отведена кзади от фронтальной плоскости. Амплитуда разгибания бедра намного меньше амплитуды сгибания и ограничена натяжением подвздошно-бедренной связки (см. стр. 40).

**Активное разгибание** осуществляется в меньшем объеме, чем пассивное. При разогнутом коленном суставе (рис. 7) оно возможно в большем объеме ( $20^\circ$ ), чем при согнутом (рис. 8). Это происходит потому, что сгибатели голени менее эффективны в качестве разгибателей бедра, поскольку их сокращение в основном ориентировано на сгибание коленного сустава (см. стр. 166). **Пассивное разгибание** достигает  $20^\circ$  при наклоне кпереди (рис. 9) и доходит до  $30^\circ$  при тяге рукой той же стороны за стопу по направлению к спине (рис. 10).

Обратите внимание на то, что амплитуда разгибания в тазобедренном суставе существенно увеличивается при наклоне таза вперед благодаря *поясничному лордозу*. Участие поясничного отдела позво-

ночника в разгибании тазобедренного сустава можно измерить (рис. 7 и 8) как угол между вертикальным (показано тонким пунктиром) и «прямым» положением бедра (показано толстым пунктиром). «Прямое» положение легко определить, поскольку угол между таким положением бедра и линией, соединяющей центр тазобедренного сустава и переднюю верхнюю ость подвздошной кости, постоянен (но имеет индивидуальные различия, поскольку *зависит от формы таза*, т.е. от его наклона кпереди или кзади).

Приводимые амплитуды характеризуют движения «обычного» нетренированного человека. При *тренировке* они существенно возрастают. Балерины, например, делают *шпагат* (рис. 11) в воздухе, что оказывается возможным благодаря повышенной эластичности подвздошно-бедренной связки. Однако здесь стоит отметить, что они компенсируют недостаточное разгибание находящейся сзади конечности весьма значительным наклоном таза кпереди.



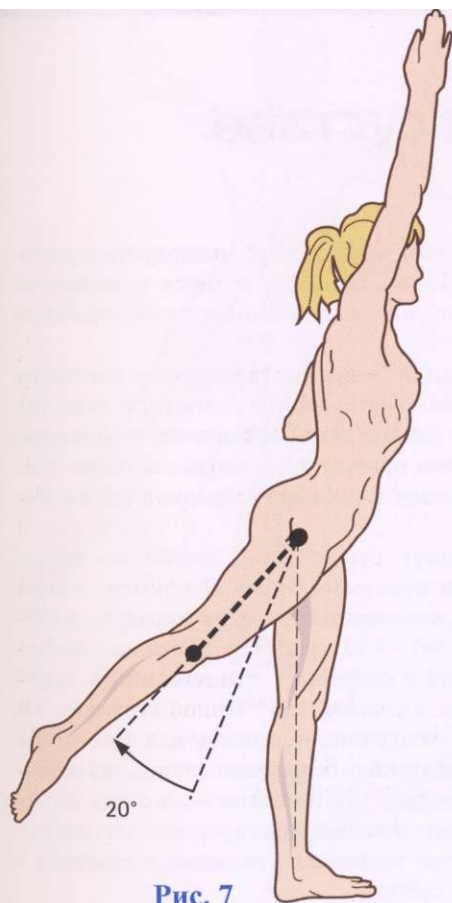


Рис. 7

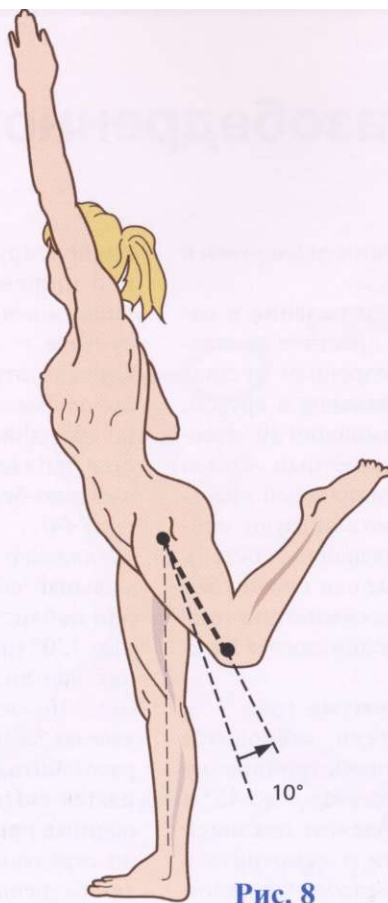


Рис. 8

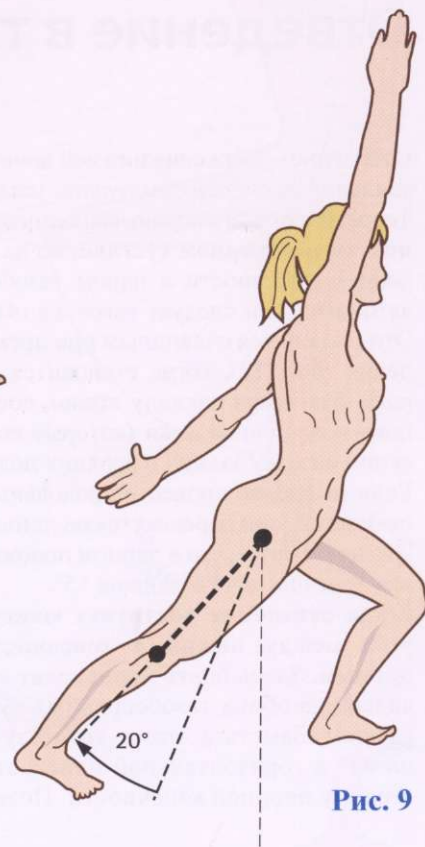


Рис. 9

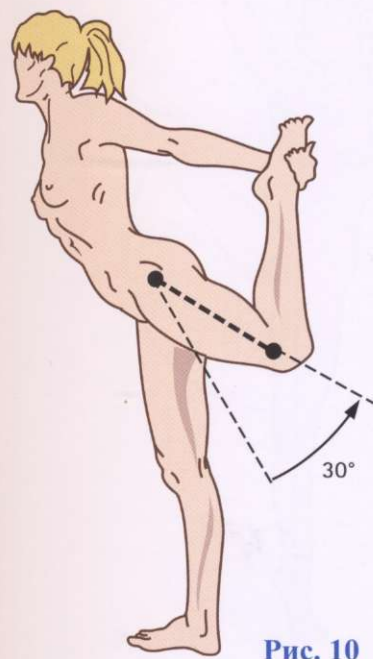


Рис. 10

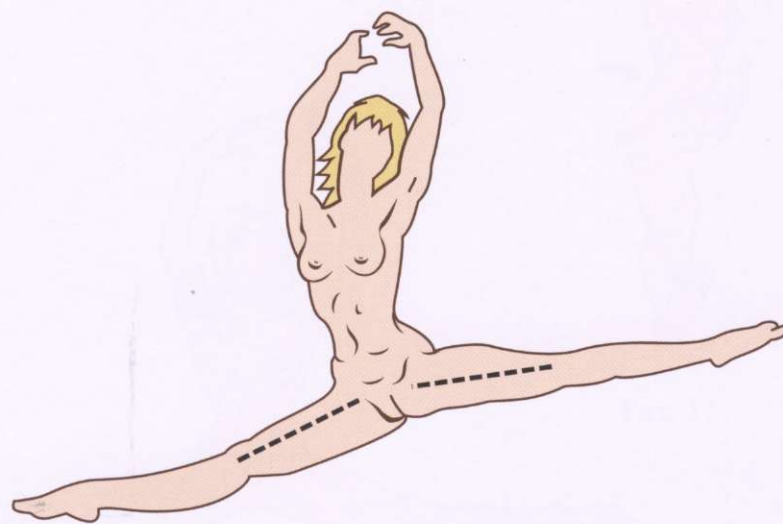


Рис. 11

# Отведение в тазобедренном суставе

Отведение - движение нижней конечности *кнаружи* и удаление ее *от оси симметрии* тела.

Теоретически возможно выполнить **отведение в одном тазобедренном суставе**, но на практике за отведением конечности в одном тазобедренном суставе автоматически следует такое же отведение в другом. Это становится очевидным при превышении 30° отведения (рис. 12), когда становится заметным *наклон таза* благодаря наклону линии, соединяющей крестцово-поясничные ямки (которые соответствуют проекции на кожу задних и верхних подвздошных остей). Если мысленно провести продольные оси нижних конечностей, они пересекутся на линии симметрии таза. Это показывает, что в данном положении каждая нижняя конечность отведена на 15°.

Когда **отведение достигает максимума** (рис. 13), угол между нижними конечностями становится прямым. Здесь опять происходит симметричное отведение в обоих тазобедренных суставах - до 45° в каждом. Заметьте, что в этом случае таз наклонен на 45° к горизонтальной плоскости и «смотрит» в сторону опорной конечности. Позвоночник в целом

компенсирует этот наклон таза, наклоняясь к опорной стороне. Таким образом, и здесь *позвоночник принимает участие* в движениях тазобедренного сустава.

Степень отведения бедра контролируется контактом его шейки с краем вертлужной впадины (см. стр. 26); но еще раньше данное движение обычно ограничивается натяжением приводящих мышц, а также подвздошно-бедренной и лобково-бедренной связок (см. стр. 44).

*Тренировка* может существенно увеличить максимальный объем отведения бедра. Например, у балерин амплитуда *активного* отведения в воздухе достигает 120° (рис. 14) - 130° (рис. 15). *Пассивное* отведение при шпагате в стороны у тренированных людей (рис. 16) может достигать 180°. Но, по существу, это уже не чистое отведение, поскольку для того чтобы расслабить подвздошно-бедренные связки, таз наклоняется кпереди (рис. 17), а поясничный отдел позвоночника приходит в положение гиперлордоза (показано стрелкой), что позволяет отведение и сгибание в тазобедренном суставе.

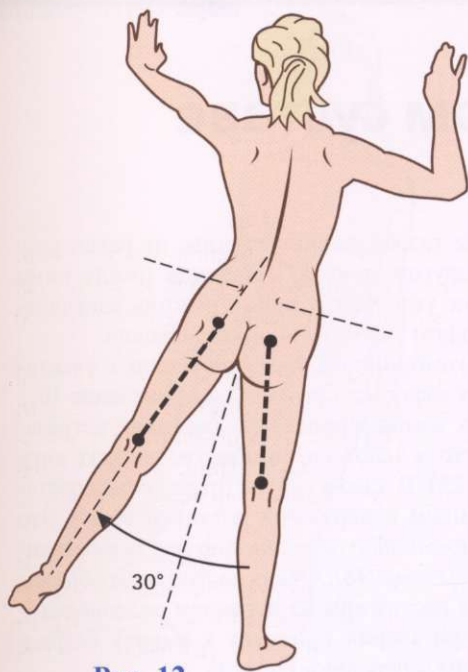


Рис. 12

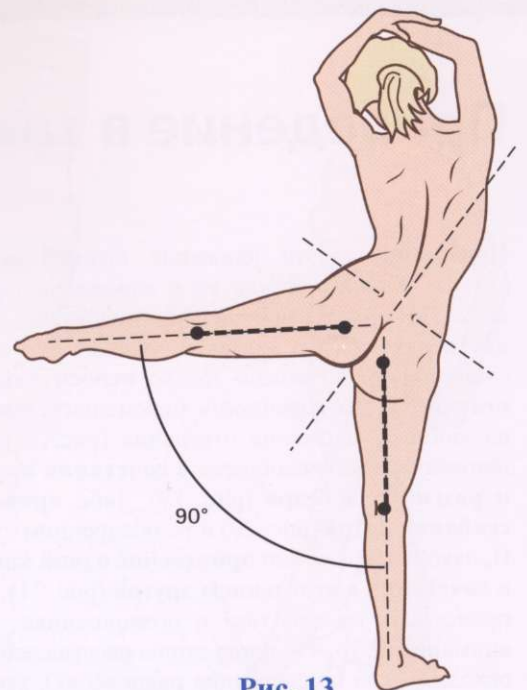


Рис. 13

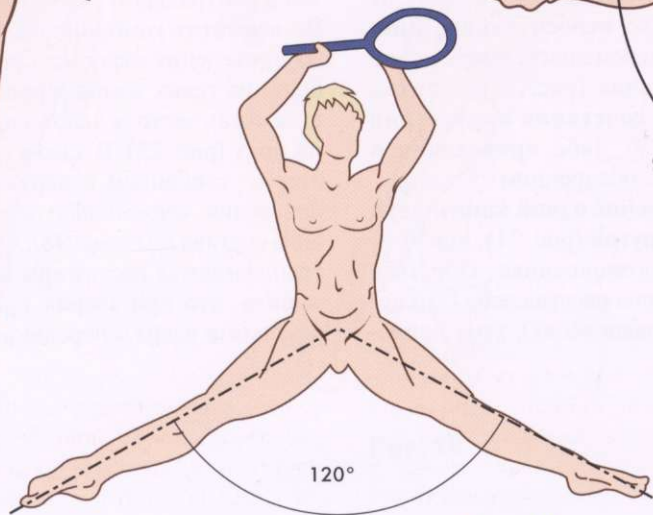


Рис. 14

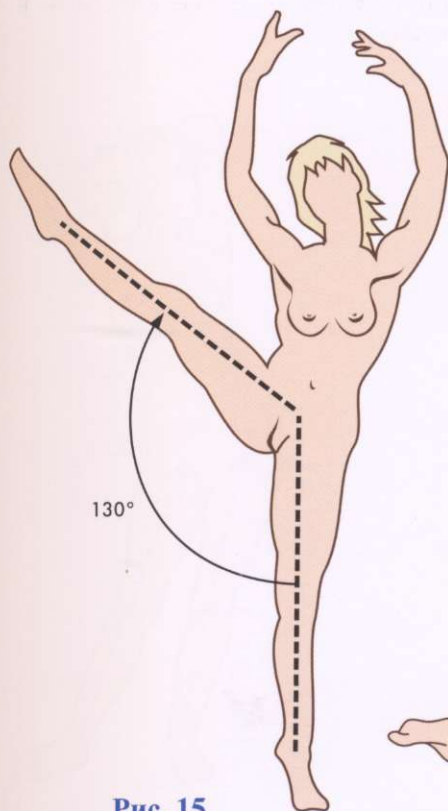


Рис. 15

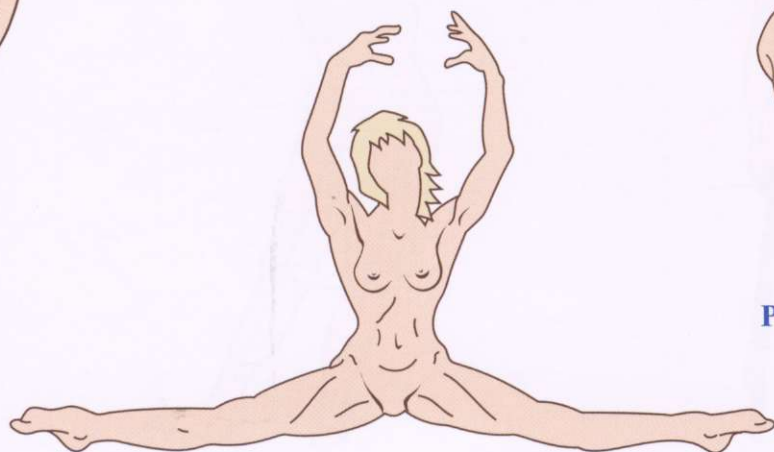


Рис. 16

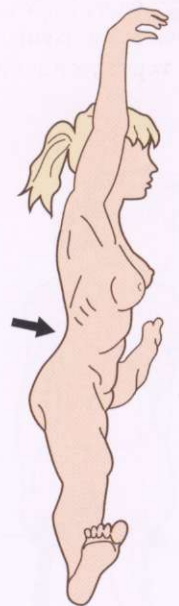


Рис. 17

# Приведение в тазобедренном суставе

Приведение — это движение нижней конечности *внутрь и приближение ее к плоскости симметрии тела*. Поскольку в нейтральном положении обе конечности находятся в контакте, *чистого приведения не существует*: возможно только **относительное приведение**, когда конечность перемещается медиально из любого положения отведения (рис. 18); а также движения, заключающиеся **в сочетании приведения и разгибания бедра** (рис. 19), либо **приведения и сгибания бедра** (рис. 20) в тазобедренном суставе.

И, наконец, возможно **приведение одной конечности в сочетании с отведением другой** (рис. 21), при этом происходит наклон таза и позвоночника. Обратите внимание на то, что когда стопы расставлены (это необходимо для поддержания равновесия), угол приве-

дения в одном тазобедренном суставе не равен углу отведения в другом (рис. 22). Разница между ними равна величине угла между осями нижних конечностей в нейтральном симметричном положении.

Во всех этих комбинированных движениях с участием приведения максимальный объем приведения 30°. Одно из таких комбинированных движений встречается очень часто: у человека, **сидящего, закинув ногу на ногу** (рис. 23). В таком случае приведение сочетается со сгибанием и наружной ротацией бедра. Это положение *чрезвычайно нестабильно* для тазобедренного сустава (*см. стр. 48*). Очень часто таким образом располагаются пассажиры на переднем сиденье автомобиля, что при аварии приводит к вывиху бедра в результате удара о переднюю панель.

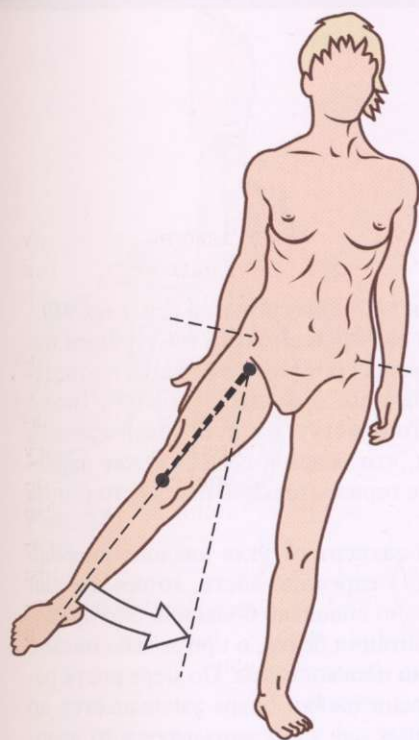


Рис. 18

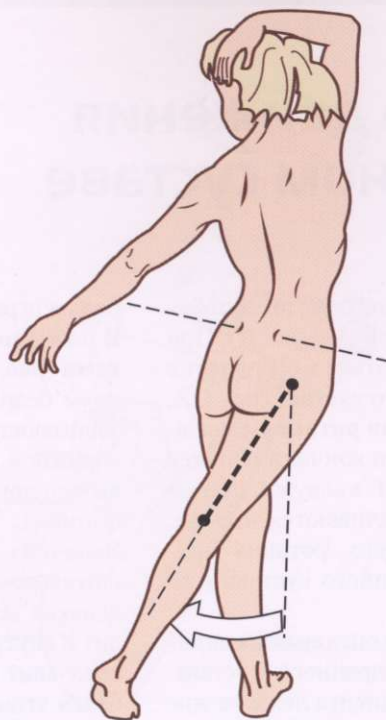


Рис. 19

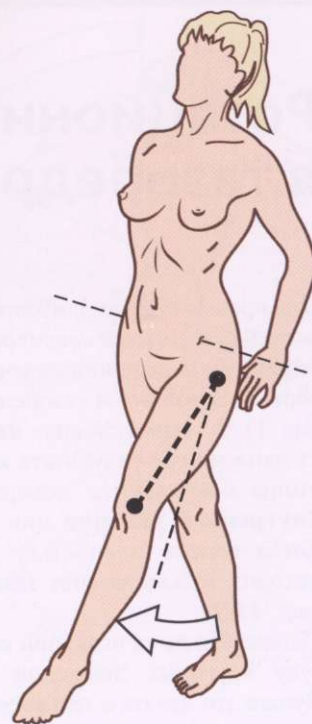


Рис. 20

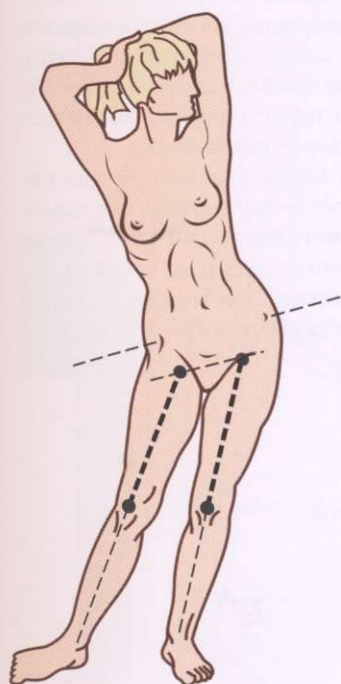


Рис. 21

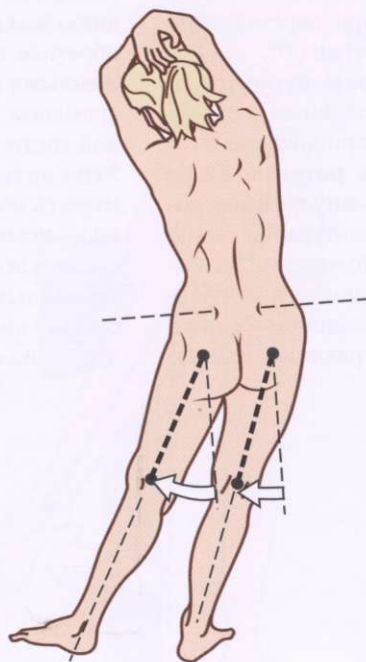


Рис. 22



Рис. 23

# Ротационные движения в тазобедренном суставе

Эти вращательные движения происходят по *механической оси нижней конечности* (ось OR, рис. 1). При «прямом» положении конечности эта ось совпадает с вертикальной осью тазобедренного сустава (ось OZ, рис. 1). В таких условиях **наружная ротация** означает движение, в результате которого кончики пальцев стопы оказываются повернутыми кнаружи, а при **внутренней ротации** они поворачиваются кнутри. Когда колено полностью разогнуто, ротация происходит только за счет тазобедренного сустава (см. стр. 152).

Однако это не та поза, при которой оценивают амплитуду круговых движений тазобедренного сустава. Лучше это делать в положении пациента лежа на животе или сидя на краю кушетки со свешенными ногами и коленными суставами, *согнутыми под прямым углом*.

Если пациент лежит **на животе, исходным положением** (рис. 24) является такое, при котором голень согнута под прямым углом к бедру и располагается вертикально к кушетке. При перемещении голени *кнаружи* из этого положения происходит *внутренняя ротация* бедра на 30—40° (рис. 25), а при перемещении *кнутри* - *наружная ротация* (рис. 26) до 60°.

В положении пациента **сидя на краю кушетки** со свешенными ногами, согнутыми в коленных суставах на 90°, применимы те же критерии: при движении голени кнутри происходит **наружная ротация** бедра (рис. 27), а при движении кнаружи - **внутренняя ротация** (рис. 28). При этом общая амплитуда наружной ротации может быть больше, чем в положении на животе, поскольку при сгибании конечности в тазобедренном суставе расслабляются подвздошно-бедренная и лобково-бедренная связки, играющие важную

роль в ограничении наружной ротации (см. стр. 50).

В положении **сидя со скрещенными по-турецки ногами** (рис. 29) наружная ротация сочетается с отведением бедра и сгибанием, превышающим 90°. Люди, занимающиеся йогой, могут достичь такой степени наружной ротации, что бедра и голени лежат параллельно друг другу в горизонтальной плоскости («поза лотоса»).

Величина ротации зависит от угла наклона кпереди (антеверсии) шейки бедренной кости, который у маленьких детей обычно довольно большой. Это приводит к внутренней ротации бедер, и при ходьбе малыш косолапит и заметно плоскостопие. По мере роста ребенка угол антеверсии шейки бедра уменьшается до показателей, обычных для здорового взрослого человека, и походка становится нормальной. Однако такой большой угол антеверсии может сохраниться или даже увеличиться, если ребенок привыкнет *сидеть на полу с согнутыми ногами, прижав пятки друг к другу*. Эта поза требует внутренней ротации бедер и ведет к дальнейшему увеличению угла антеверсии шейки бедра благодаря высокой пластичности скелета. Ситуацию можно исправить, заставляя ребенка принимать обратное положение, т.е. сидеть по-турецки со скрещенными ногами или, еще лучше, в «позе лотоса». Со временем это приводит к перестройке шейки бедренной кости в сторону некоторой ретроверсии.

**Угол антеверсии шейки бедра** довольно трудно измерить по стандартным рентгенограммам, но с помощью **компьютерной томографии** (КТ) это можно сделать легко и точно. Таким образом, для оценки ротационных нарушений нижней конечности, которые обычно *«начинаются»* с тазобедренного сустава, следует использовать КТ.

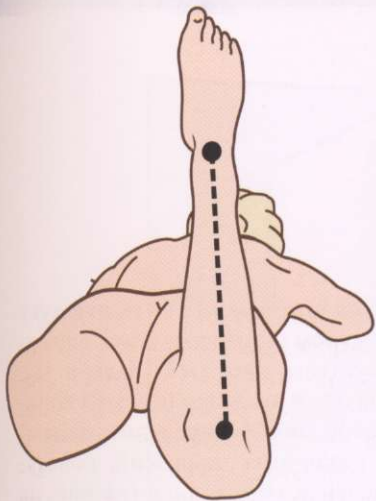


Рис. 24

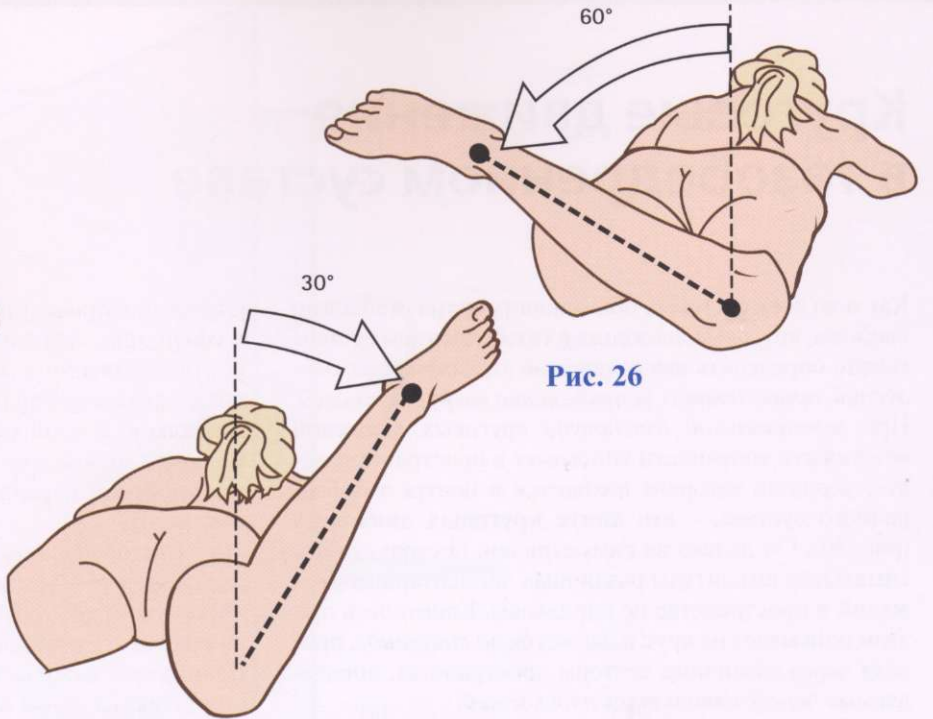


Рис. 25

Рис. 26

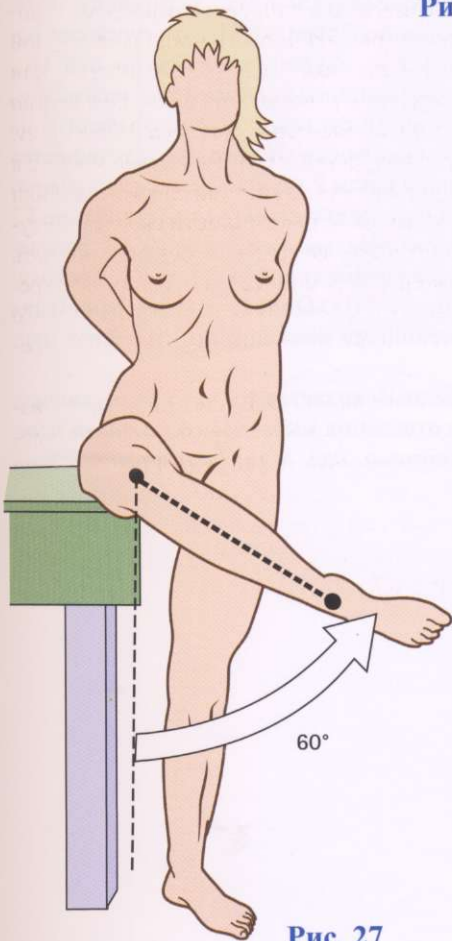


Рис. 27

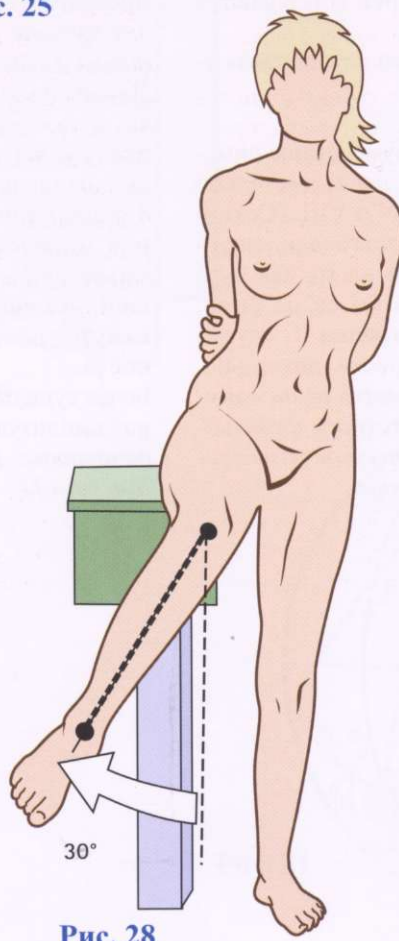


Рис. 28

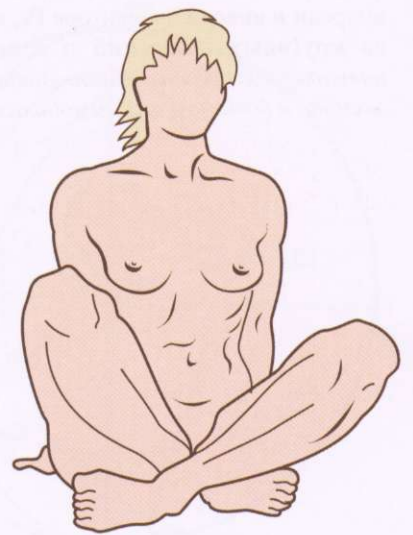


Рис. 29

# Круговые движения в тазобедренном суставе

Как и во всех суставах, обладающих тремя степенями свободы, круговые движения в тазобедренном суставе можно определить как *сочетание элементарных движений, происходящих одновременно вокруг трех осей*. При *максимальной амплитуде* круговых движений ось нижней конечности описывает в пространстве *конус*, вершина которого находится в центре тазобедренного сустава, - **это конус круговых движений** (рис. 30). Он далеко не симметричен, поскольку максимальные амплитуды различных элементарных движений в пространстве не одинаковы. Конечность при этом описывает не круг, а движется по *синусоиде*, проходя через различные секторы пространства, определяемые *пересечением трех плоскостей*".

А - сагиттальная плоскость, в которой совершаются сгибание и разгибание;

В - фронтальная плоскость, в которой осуществляются отведение и приведение,

С - горизонтальная плоскость.

Восемь секторов пространства пронумерованы римскими цифрами от I до VIII, и конус последовательно проходит через сектора III, II, I, IV, V и VIII. (Сектор VIII лежит ниже плоскости С - по диагонали напротив сектора IV.) Обратите внимание на то, как дуга обходит опорную конечность: если бы ее не было, дуга бы пошла далее медиально. **Стрелка R**, служащая продолжением нижней конечности дистально, спереди и снаружки в секторе IV, является **осью конуса круговых движений** и соответствует *функциональному положению тазобедренного сустава и положению, в котором его иммобилизируют*.

Страссэр (Strasser) предложил **заключить эту дугу в сферу** (рис. 31) с центром **O**, находящимся в центре тазобедренного сустава, при этом радиус **OL** представляет собой бедро, а экваторная ось **EI** горизонтальна. В этой сфере можно определить максимальную амплитуду различных движений, пользуясь системой параллелей и меридианов (на рис. не показано).

Тот же автор предложил идентичную схему для плечевого сустава. Однако она значительно интереснее, поскольку плечо обладает большей амплитудой вращения вокруг продольной оси, нежели бедро.

Начиная из исходного положения **OL**, при отведении (стрелка **Ab**) и приведении (стрелка **Ad**), бедро проходит по горизонтальному меридиану **MH**; *внутренняя ротация* (стрелка **Ri**) и *наружная ротация* (стрелка **Re**) осуществляются по оси **OL**. Движения, представленные сгибанием и разгибанием в тазобедренном суставе, можно разделить на две группы в зависимости от того, осуществляются ли они вдоль параллели **P** (сгибание **F1** или *центробежное*) или вдоль большого круга **C** (сгибание **F2** или *центростремительное*). Сгибание **F2** раскладывается на уже рассмотренное **F1**, и **F3**, проходящий по меридиану **MH**. Однако эти разграничения кажутся не имеющими большой практической ценности.

Более существенным является то, что при ограниченной амплитуде отведения *мы можем воссоздать псевдопарадокс Кодмана для тазобедренного сустава (см. том I)*.



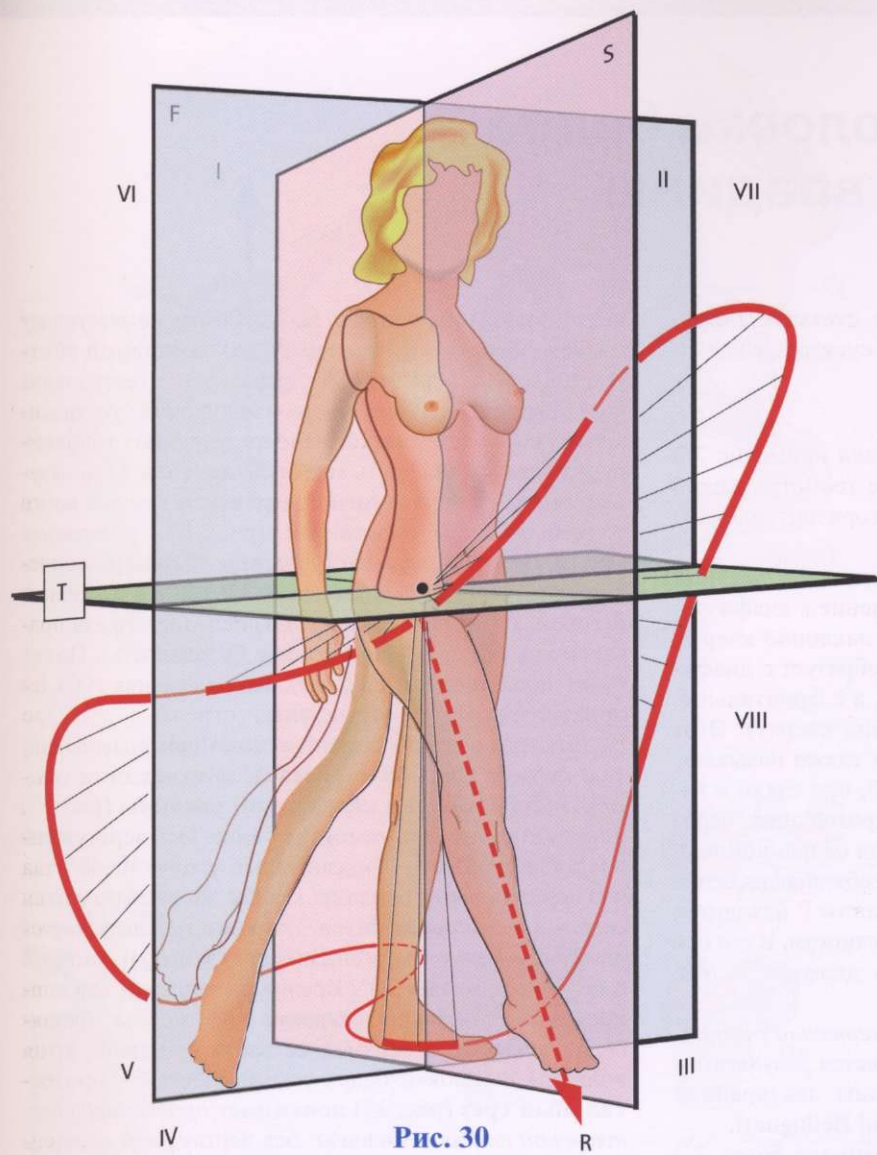


Рис. 30

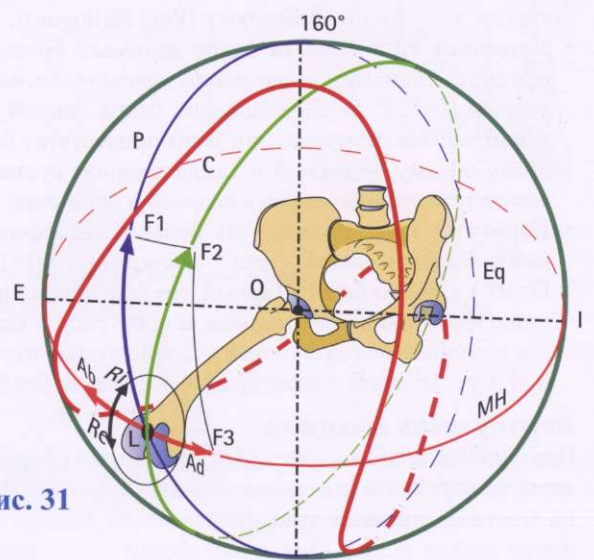


Рис. 31

# Ориентация головки бедра и вертлужной впадины

Тазобедренный сустав относится к суставам **шаровидного типа** и имеет *сферические* суставные поверхности.

## Головка бедренной кости

Она (рис. 32, вид спереди) образована примерно 2/3 сферы диаметром 4-5 см. Через ее геометрический центр **О** проходят три оси сустава: горизонтальная 1, вертикальная 2 и переднезадняя 3.

Головка бедренной кости поддерживается **шейкой бедра**, которая обеспечивает соединение с диафизом. Ось шейки бедра (стрелка **A**) идет наклонно кверху, кнутри и кпереди. У взрослых она образует с диафизом бедренной кости **D** угол в  $125^\circ$ , а с фронтальной плоскостью - в  $10-30^\circ$  (рис. 38, вид сверху). Этот угол открыт кнутри и кпереди, его также называют *углом антеверсии*. Поэтому (рис. 35, вид сзади и изнутри) фронтальная плоскость, проходящая через центр головки бедра и ось мыщелков бедренной кости (плоскость **P**), оставляет позади себя диафиз бедра и его верхнюю часть. На этой плоскости **P** находится механическая ось **ММ'** нижней конечности, и эта ось образует угол от  $5^\circ$  до  $7^\circ$  с осью диафиза **D** (см. стр. 88).

Форма головки и шейки бедра *существенно различается*, что, согласно антропологам, является результатом функциональной адаптации. Описаны два крайних типа (см. рис. 36, по П. Беллюгу (Paul Bellugue)).

- **Длинный тип:** головка бедра занимает более 2/3 сферы, а *величина шеечно-диафизарного угла максимальна* ( $l=125^\circ$   $D=25^\circ$ ). Диафиз бедра тонкий, таз узкий, малых размеров. Это благоприятствует большому объему движений в тазобедренном суставе и соответствует *адаптации к скорости движения а, с*.
- **Короткий тип:** головка чуть больше полусферы, а *шеечно-диафизарный угол минимален* ( $l=115^\circ$ ,  $D=10^\circ$ ). Диафиз более мощный, таз большой и широкий. Объем движений меньше, а проигрыш в скорости компенсируется большей устойчивостью сустава **b, d**. Сустав такой конфигурации *более «мощный»*.

## Вертлужная впадина

Вертлужная впадина (рис. 33, вид снаружи) расположена на наружной поверхности подвздошной кости и на месте соединения трех своих частей вмещает головку шейки бедра. Она имеет форму полусферы с

четко очерченным краем **L**. По бокам ее выстилает подковообразный суставной хрящ **Ca**, который внизу прерывается вертлужной вырезкой. Центральная часть впадины глубже, чем та, что покрыта суставным хрящом, и не сочленяется непосредственно с головкой бедра. Это задняя часть *вертлужной ямки Af*, и отделяется она от внутренней поверхности тазовой кости тонкой костной пластинкой (рис. 34, прозрачная кость). Центр вертлужной впадины **O** расположен на перекрещении двух диагоналей **AP** и **ET** (**A** - осевой бугорок, **P** - лобковая кость, **E** - передневерхняя подвздошная ость, **T** - седалищная бугристость). Позже будет показано (см. стр. 34), как суставная губа **La** прикрепляется к краю впадины.

Вертлужная впадина ориентирована *латерально, книзу и кпереди* (рис. 38, стрелка **A'** показывает ее ось).

**Вертикальный срез вертлужной впадины** (рис. 37) показывает, что она «смотрит» вниз. Ось вертлужной впадины образует с горизонталью угол в  $30-40^\circ$ , так что верхняя часть впадины как бы латерально «нависает» над головкой бедра. Этот выступ выражается *углом нависания W* (угол Виберга (Wiberg)), который в норме составляет  $30^\circ$ . Крыша вертлужной впадины испытывает большое давление со стороны головки бедра, поэтому в верхней ее части суставной хрящ впадины и головки бедра самый толстый. **Горизонтальный срез** (рис. 37) показывает *ориентацию вертлужной впадины кпереди*: ось вертлужной впадины **A'** составляет угол в  $30-10^\circ$  с фронтальной плоскостью. Сюда также включаются *вертлужная ямка Af*, лежащая глубже *суставного хряща Ca*; *суставная губа LA*, переходящая в край вертлужной впадины. *Плоскость, касательная* от вертлужной впадины к краю **P**, идет наклонно кпереди и кнутри. В реальности изображения, соответствующие этим плоскостям сечения, можно получить следующим образом:

- для **вертикально-фронтального среза** томограмма дает картину, близкую к рис. 36;
- для **горизонтального и вертикально-фронтального срезов** компьютерная томография тазобедренного сустава дает картину, близкую к рис. 38, и позволяет измерить угол антеверсии вертлужной впадины и шейки бедра. Эти данные могут оказаться полезными при диагностике дисплазии тазобедренного сустава.

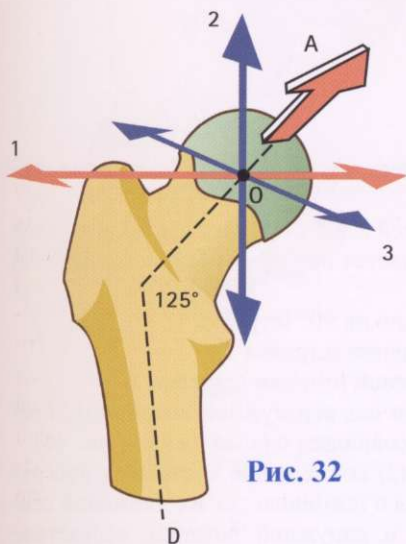


Рис. 32

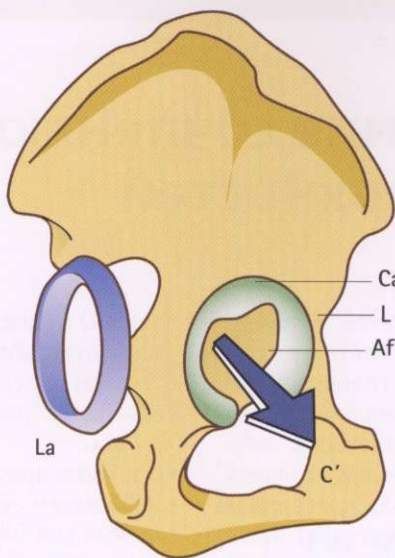


Рис. 33

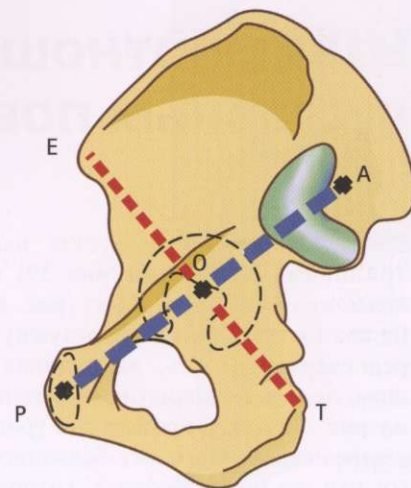


Рис. 34

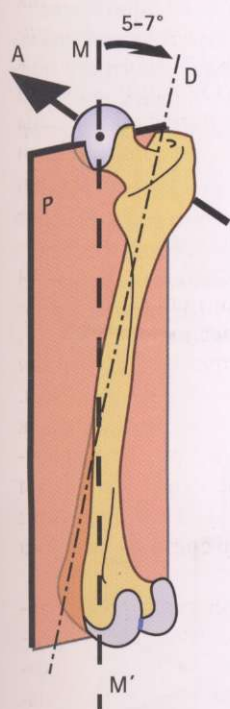


Рис. 35

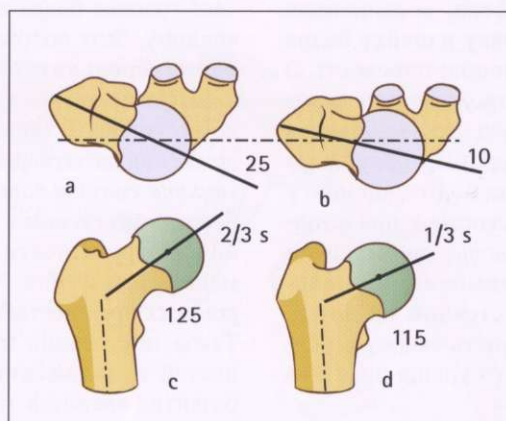


Рис. 36

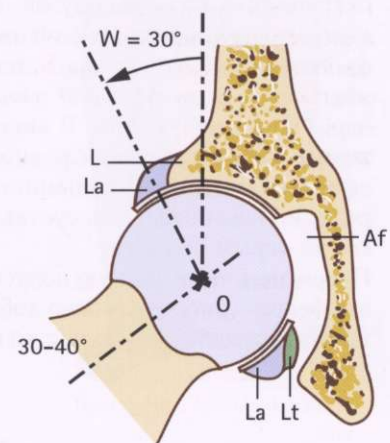


Рис. 37

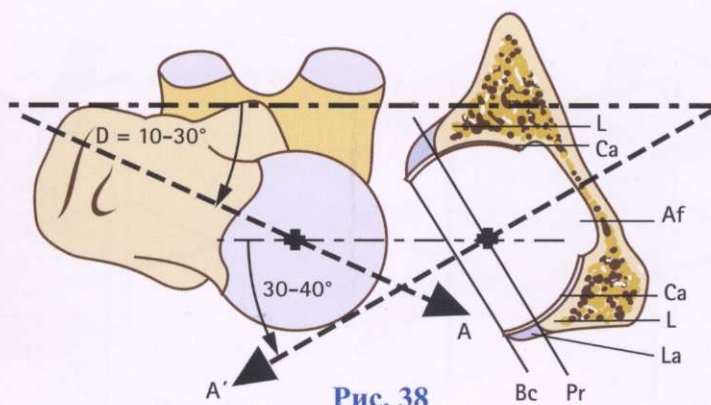


Рис. 38

# Взаимоотношения сочленяющихся суставных поверхностей

Когда тазобедренный сустав находится в **«нейтральном» положении** (рис. 39), что соответствует *прямому стоянию на ногах* (рис. 40), головка бедра не полностью входит в вертлужную впадину: ее передневерхняя часть, высланная суставным хрящом, не имеет покрытия (показано белой стрелкой на рис. 39). Это происходит (рис. 45, трехмерная схема осей правого тазобедренного сустава) потому, что *ось шейки бедра А*, которая идет косо вверху, впереди и кнутри, не совпадает с *осью вертлужной впадины А'*, проходящей наклонно книзу, впереди и кнаружи. **Механическая модель тазобедренного сустава** (рис. 41) следующим образом иллюстрирует эти соотношения: сфера, соединенная со стержнем, воспроизводит головку и шейку бедра и соответствующие им углы наклонов; плоскость D представляет собой плоскость, проходящую через ось диафиза бедра и поперечную ось мышелков бедренной кости. С другой стороны, полусфера надлежащим образом расположена по отношению к *сагиттальной плоскости S*; плоскость F представляет собой *фронтальную плоскость*, проходящую через центр полусферы. В **«выпрямленном» положении** сустава, т.е. при ровном стоянии на ногах, сфера в наибольшей степени открыта сверху и спереди; обнаженная часть суставного хряща показана темно-серым цветом.

Перемещая «вертлужную полусферу» и «сферу головки бедра» (рис. 44), можно добиться полного совмещения суставных поверхностей головки и вертлужной

впадины с исчезновением не имеющих покрытия «серых полукружий».

С учетом плоскостей S и P становится ясно, что такое совмещение получается при *трех элементарных движениях*.

- сгибании примерно на 90° (стрелка 1),
- небольшом отведении (стрелка 2),
- небольшой наружной ротации (стрелка 3).

В таком положении ось вертлужной впадины А' превращается в А'' и совпадает с осью шейки (рис. 46).

На скелете (рис. 42) совмещение суставных поверхностей достигается с помощью тех же движений сгибания, отведения и наружной ротации, вследствие чего головка бедра полностью входит в вертлужную впадину. Это положение соответствует **положению на четвереньках** (рис. 43), которое и является истинным физиологическим положением для тазобедренного сустава. В процессе эволюции переход от передвижения на четвереньках к прямохождению привел к *утрате совмещения суставных поверхностей тазобедренного сустава*. В свою очередь, эту утрату полной конгруэнтности можно рассматривать как аргумент в пользу того, что человек произошел от четвероногих предшественников.

Такое постоянное несовпадение суставных поверхностей в **положении стоя** может являться основой развития артрозов тазобедренного сустава, особенно при *сопутствующих дефектах ориентации суставных поверхностей*", например, в случае **дисплазии тазобедренного сустава**.

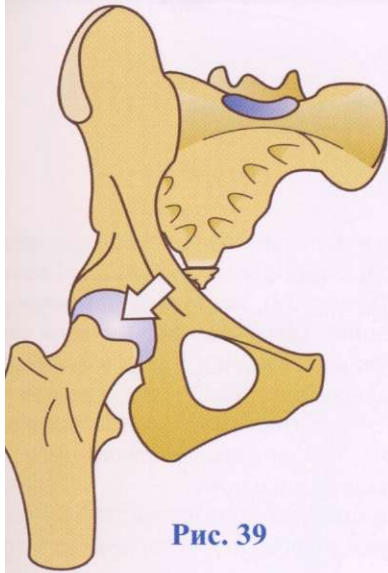


Рис. 39



Рис. 40

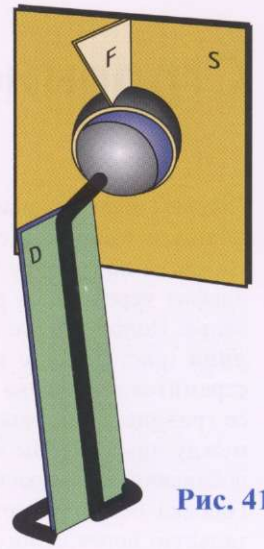


Рис. 41

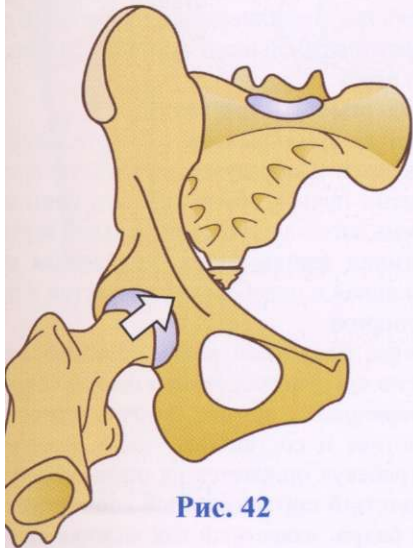


Рис. 42

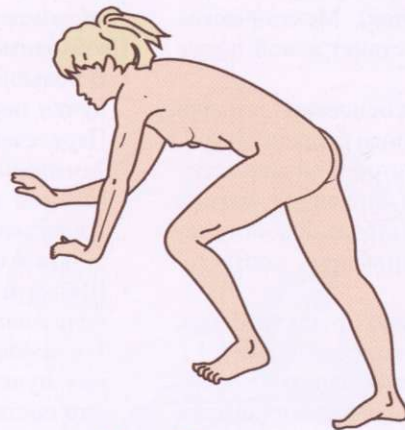


Рис. 43

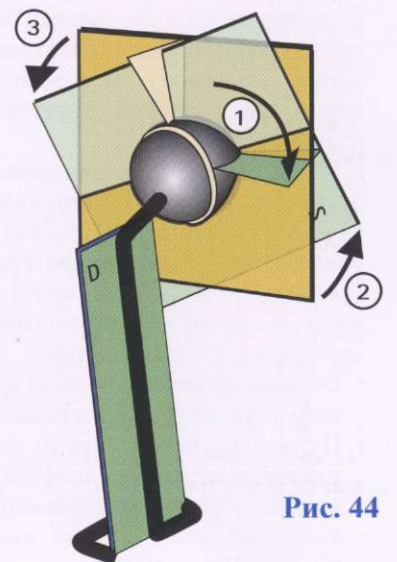


Рис. 44

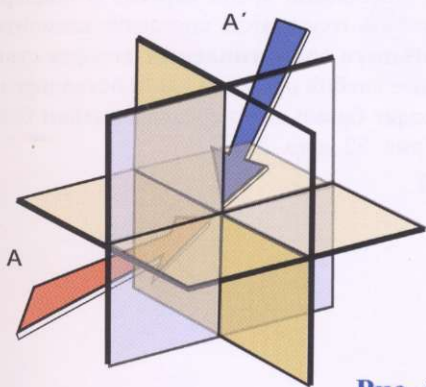


Рис. 45

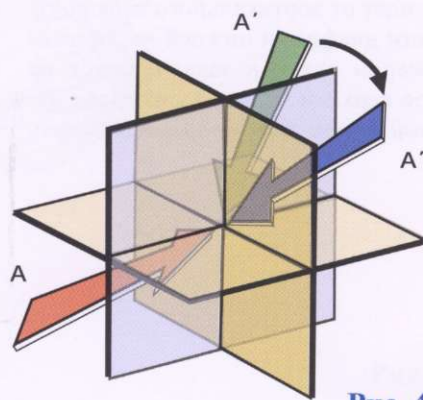


Рис. 46

# Строение бедренной кости и таза

Головку, шейку и диафиз бедра можно сравнить с **башенным краном**. Действительно, вес тела, действующий на головку бедренной кости, передается на диафиз через плечо рычага, представленное шейкой бедра. Подобным же примером может служить **виселица** (рис. 51), где вес, действующий вертикально, стремится «срезать» горизонтальную перекладину у ее границы с опорным столбом, чтобы *закрывать* угол между ними. Чтобы этого не произошло, к виселице добавляют *косую распорку*.

Головка бедра представляет собой как бы горизонтальную перекладину виселицы. *Схематический рисунок нижней конечности* (рис. 49) показывает, что механическая ось трех ее суставов (бедренный, коленный и голеностопный суставы) (жирный пунктир) проходит медиальнее головки бедра (**NB** — механическая ось не совпадает с вертикалью, представленной линией, состоящей из тире и точек). Механическая значимость подобной структуры станет ясной позже (см. рис. 129).

Для противодействия срезыванию основания головки бедра (рис. 52, стр. 33) верхний конец бедренной кости имеет специальное строение, которое можно легко увидеть на **вертикальном срезе** лишенной мягких тканей кости (рис. 47). Пластинки губчатой кости располагаются **двумя системами трабекул**, соответствующими *силовым линиям*:

- **Основная система** состоит из двух групп трабекул, веером расходящихся в головке и шейке бедра.
- **Первая группа 1** идет от кортикального слоя наружной поверхности диафиза бедра и заканчивается в нижней части кортикального слоя головки (так называемый *дугобразный пучок Галуа и Боскета* (Gallois, Bosquette)).
- **Вторая группа 2** идет от кортикального слоя внутренней поверхности диафиза и нижней части шейки, расходится веером вверх и заканчивается на кортикальном слое верхней части головки (так называемый *головной пучок* или *поддерживающий веер*).

Кульман (Culmann) в эксперименте показал, что, когда система нагружена и имеет форму крючка или башенного крана (рис. 50, стр. 33), возникают две веерные группы силовых линий: *косой веер* на выпуклой части, что соответствует *силам тяги* и воспроизводит дугобразный пучок, и вертикальный веер, лежащий на вогнутой стороне, что соответствует *силам сдавливания* и воспроизводит «поддерживающий веер» (вспомните косую перекладину виселицы):

- **дополнительная система** состоит из двух пучков, которые расходятся веером по направлению к большому вертелу;
- **первый пучок 3** идет от кортикального слоя внутренней части диафиза - это вертельный пучок;
- **второй пучок 4** - менее важный, он состоит из вертикальных трабекул, параллельных наружной кортикальной пластинке большого вертела. Это *подкортикальный пучок*.

Необходимо особо отметить **три точки**:

- В большом вертеле дугобразный 1 и вертельный 3 пучки пересекаются и образуют *готическую арку*. Пересечение этих пучков образует более плотный *замковый камень*, спускающийся от верхней кортикальной пластинки шейки бедра. Внутренняя колонна менее мощная и ослабевает с возрастом в результате остеопороза.
- Шейка и головка бедренной кости образуют *еще одну готическую арку*, пересечением *дугобразного 1* и *поддерживающего 2* пучков. В точке пересечения пучки плотнее и составляют «*ядро головки*». Эта система трабекул опирается на очень мощную структуру - **толстый кортикальный слой нижней части шейки бедра**, известный как *нижняя шеечная шпора Меркеля (Merkel) М* или *дуга Адамса*.
- Между готической аркой вертела и поддерживающей шеечно-головчатой системой находится **зона наименьшего сопротивления**, которая становится еще более слабой при сенильном остеопорозе; здесь происходят базальные переломы шейки бедренной кости (рис. 52, стр. 33).

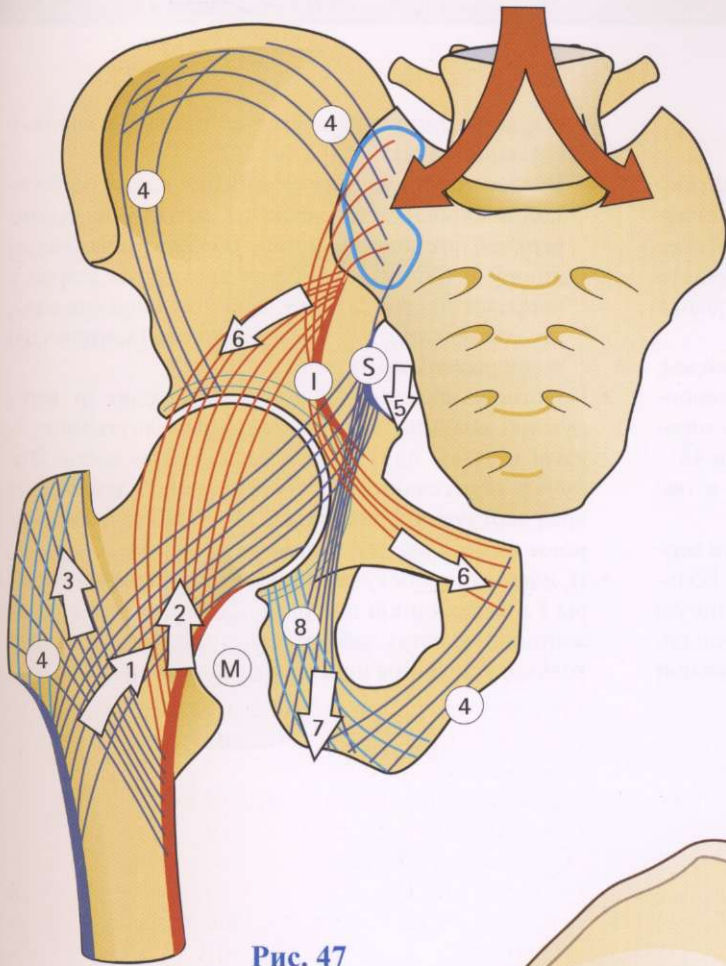


Рис. 47

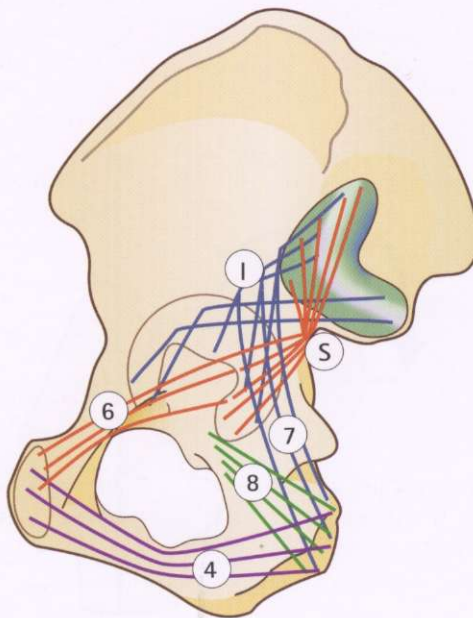


Рис. 48

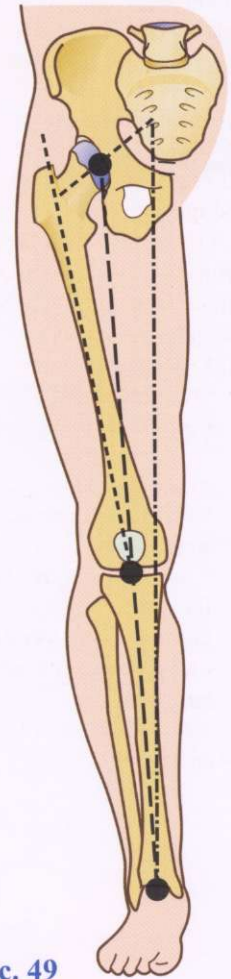


Рис. 49

## Строение бедренной кости и таза (продолжение)

Структуру тазового пояса (рис. 47, стр. 31) можно изучать таким же образом. Поскольку таз представляет собой непрерывное замкнутое кольцо, он передает вертикально направленную нагрузку от позвоночного столба (поперечно заштрихованная двойная красная стрелка) на оба тазобедренных сустава.

Существуют *две основные трабекулярные системы*, которые передают нагрузки от крестцово-подвздошного сочленения на вертлужную впадину, с одной стороны, и на седалищную кость — с другой (рис. 47 и 48).

- Крестцово-вертлужные пучки организуются в *две системы*.

- Первая система 5, начинается в верхней части вертлужной впадины, сходится у заднего края большой седалищной вырезки, образуя «седалищную шпору» S. Отсюда она отклоняется латерально, расходясь веером к нижней части вертлужной

впадины, где совмещается с силовыми линиями (тракция) шейки бедра 1.

- Вторая группа 6 идет от нижней части вертлужной впадины. Эти трабекулы сходятся на уровне верхней ягодичной линии, образуя безымянную шпору I. Отсюда эти пучки расходятся веером в направлении верхней части вертлужной впадины, где совпадают с силовыми линиями (компрессия) поддерживающего веера 2.
- Крестцово-седалищные пучки 7 отходят от вертлужной впадины вместе с вышеупомянутыми пучками и затем идут вниз к седалищной кости. Эти пучки пересекаются с трабекулами, идущими от края вертлужной впадины 8. Эти трабекулы принимают на себя вес тела в положении сидя.
- И, наконец, трабекулы, идущие от безымянной шпору I и седалищной шпору S, входят вместе в горизонтальную ветвь лобковой кости, дополняя тазовое кольцо, усиленное подкортикальными пучками 4.



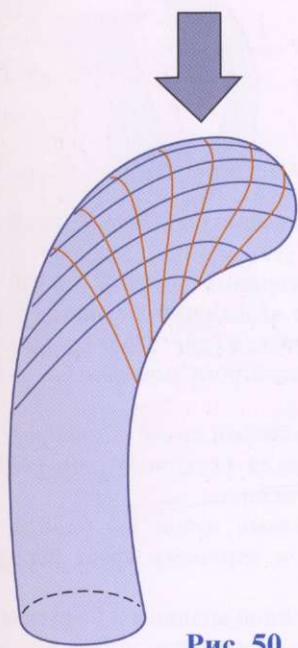


Рис. 50

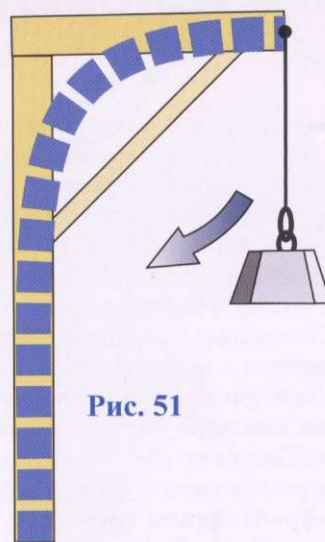


Рис. 51

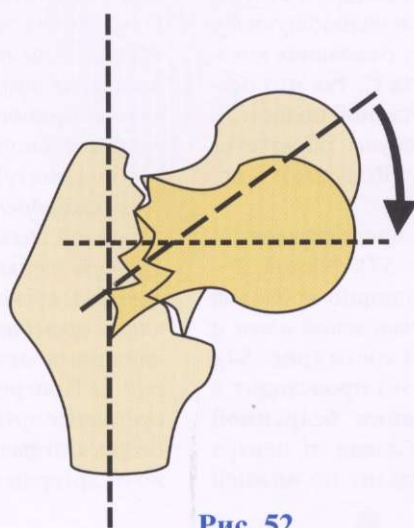


Рис. 52

# Губа вертлужной впадины и связка головки бедра

Суставная губа вертлужной впадины, или лабрум **fa**, представляет собой фиброзно-хрящевое кольцо, прикрепляющееся к **краю вертлужной впадины** (рис. 53). Она существенно углубляет **вертлужную впадину** (см. стр. 48) и компенсирует неровности ее края **L**. Если удалить передневерхнюю часть суставной губы, можно увидеть *повздошно-лобковую вырезку* **EP**. *Седалищно-лобковая вырезка* **EiP** - самая глубокая из трех - перекрывается суставной губой там, где к ней прикрепляется **поперечная связка вертлужной впадины LT**, точки прикрепления которой располагаются по обе стороны вырезки. (На рисунке и поперечная связка, и губа *отогнуты*.) На **вертикально-фронтальном срезе** (рис. 54) можно видеть, что суставная губа прочно фиксирована к краю вырезки и к поперечной связке (см. также рис. 37, стр. 27).

**Губа** имеет на срезе *треугольную форму* и три поверхности: *внутреннюю*, полностью прикрепляющуюся к краю вертлужной впадины и к поперечной связке; *центральную* (обращенную к центру сустава), выстланную суставным хрящом, переходящим в суставной хрящ вертлужной впадины, и сочленяющуюся с головкой бедра; и *периферическую*, у основания которой прикрепляется суставная капсула **C**, так что острый край губы свободно лежит в суставной полости, а между губой и прикреплением капсулы образуется круглый карман (рис. 55 по Рувьеру (Rouviere)) - **перилимбический карман R**.

**Круглая связка головки бедра LR** представляет собой плоский фиброзный тяж (рис. 57) длиной 3 - 3,5 см, который берет начало от седалищно-лобковой вырезки (рис. 53), идет по *дну вертлужной ямки* и прикрепляется к головке бедренной кости (рис. 54). Это прикрепление к головке (рис. 56) происходит в верхней части **ямки связки головки бедренной кости**, несколько вогнутой вниз и сзади от центра хрящевой поверхности. Связка скользит по нижней

части ямки, не прикрепляясь, и разделяется на три пучка:

- *задний седалищный пучок fp* (самый длинный) выходит через седалищно-лобковую вырезку под поперечной связкой (рис. 53) и прикрепляется ниже и позади заднего рога подковообразного суставного мениска;
- *передний лобковый пучок fa* прикрепляется к самой вырезке позади переднего рога подковообразного суставного мениска;
- *промежуточный пучок fm* (самый тонкий) прикрепляется к верхнему краю поперечной связки (рис. 53).

На дне вертлужной впадины **AF** круглая связка заключена в фиброзно-жировую прослойку и выстлана синовиальной тканью (рис. 55). Синовиальная выстилка прикрепляется с одной стороны к центру суставного мениска и к верхнему краю поперечной связки, а с другой - к головке бедренной кости в области прикрепления круглой связки. Поэтому она имеет форму, напоминающую усеченный конус, отсюда и ее название - **«палатка» круглой связки Ts**.

С механической точки зрения роль круглой связки весьма невелика, хотя она очень прочная (ее прочность на разрыв составляет 45 кг). Однако она участвует в **кровоснабжении головки бедра**. Задняя ветвь запирающей артерии **1** (рис. 58 по Рувьеру (Rouviere), вид снизу) отдает маленькую веточку — *артерию головки бедренной кости 6*, которая проходит под поперечной связкой и включается в круглую связку. Головка и шейка бедра также получают питание через *артерию суставной капсулы 5*, *ветки передней огибающей артерии 3* и *задней огибающей артерии 4*, являющиеся *коллатералиями глубокой бедренной артерии 2*. Поперечный перелом шейки бедра разрывает суставные артерии, *уменьшая васкуляризацию головки бедра*, которая получает теперь питание исключительно от артерии круглой связки.

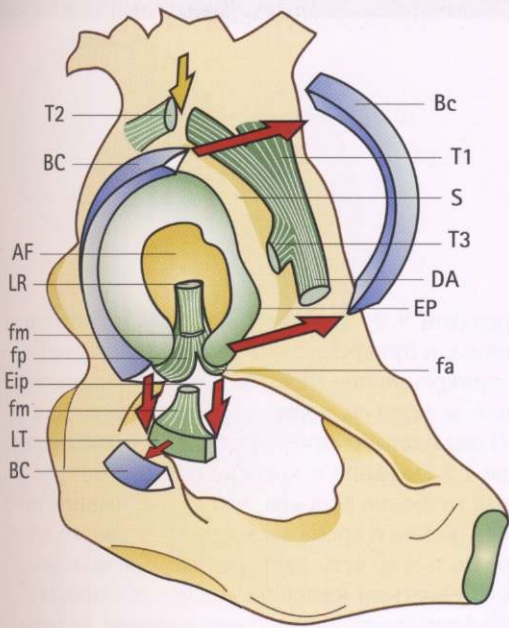


Рис. 53

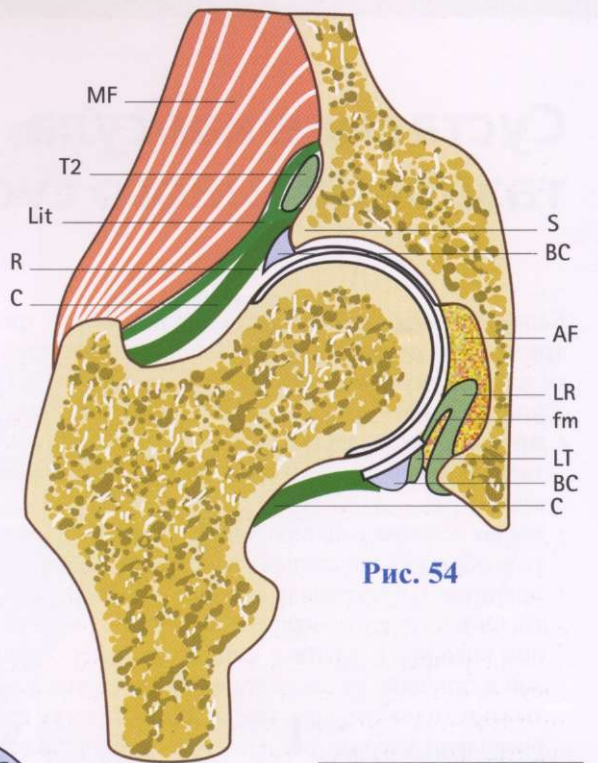


Рис. 54

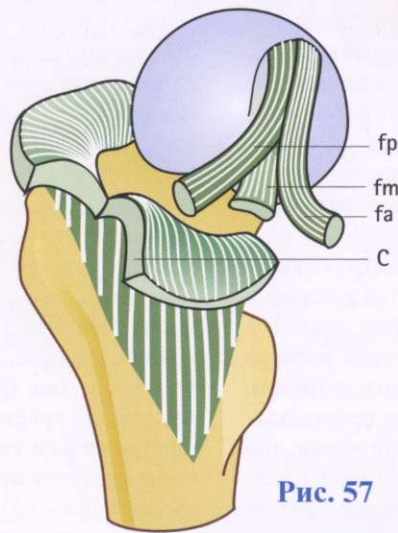


Рис. 57

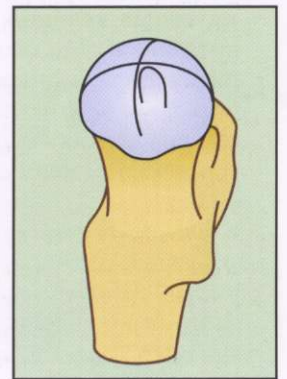


Рис. 56

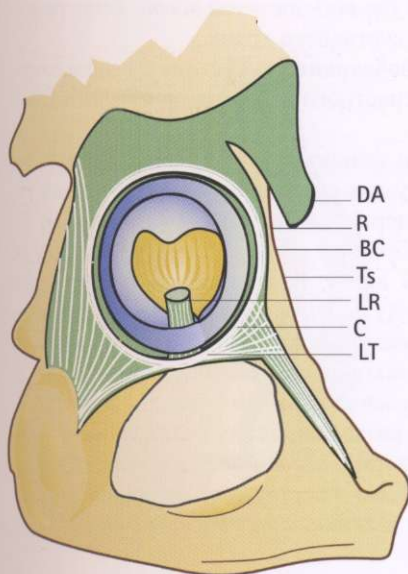


Рис. 55

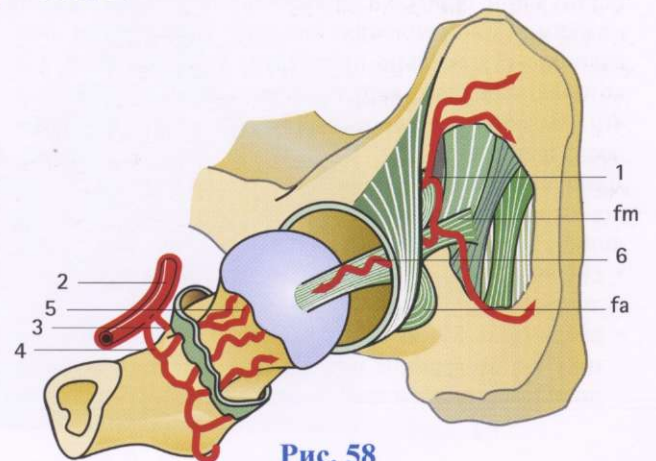


Рис. 58

# Суставная капсула тазобедренного сустава

Капсула тазобедренного сустава имеет форму **цилиндрического рукава** (рис. 59), идущего от тазовой кости к верхнему концу бедра. Она состоит из четырех групп волокон:

- **продольные 1**, которые помогают соединить суставные поверхности и идут параллельно оси этого цилиндра;
- **косые 2**, также соединяющие суставные поверхности и образующие спираль вокруг цилиндра;
- **арочные 3**, прикрепляющиеся только к тазовой кости. Они идут крест-накрест от одного края вертлужной впадины к другому и образуют арку с верхушкой в середине рукава. Эти арочные волокна обхватывают головку бедра, как мужской галстук шею, и позволяют удержать ее в вертлужной впадине;
- **круговые волокна 4**, не имеющие костных прикреплений. Они особенно многочисленны в середине рукава, в котором они формируют небольшие бороздки. Круговые волокна находятся на глубокой поверхности капсулы и формируют *кольцевую зону* (кольцо Вебера (Weber)), которая окружает шейку.

Медиально связка капсулы прикрепляется к краю вертлужной впадины 5, поперечной связке и периферической поверхности суставной губы (см. стр. 34). Она интимно связана с *сухожилием прямой мышцы бедра (DA, рис. 53, стр. 35)* следующим образом: прямая головка T1 прямой мышцы бедра прикрепляется к передненижней ости подвздошной кости, наклоненная головка T2 крепится к задней части надвертлужной бороздки, проскальзывая между двумя ножками прикрепления капсулы (рис. 54) и подвздошно-сухожильно-предвертлужной связкой Lit, которая укрепляет верхнюю часть капсулы (см. стр. 46). Возвратная головка T3 укрепляет переднюю часть капсулы.

Латерально капсула прикрепляется не к краям суставного хряща, а к *основанию шейки бедренной кости* по линии, которая проходит следующим образом:

- спереди (рис. 59) вдоль *передней межвертельной линии 6*,
- сзади (рис. 60) не вдоль задней межвертельной линии 7, а по границе наружной и средней третьей задней поверхности шейки бедра 8, непосредственно

над бороздкой 9 сухожилия наружной запирающей мышцы, и прикрепляется к пальцевой ямке **Fd**.

- Линия прикрепления капсулы проходит *наклонно к нижней и верхней поверхностям шейки*. Внизу (рис. 59) она идет над предвертлужной ямкой и примерно на 1,5 см выше и впереди от малого вертела **Pt**. Самые глубокие волокна доходят до нижней поверхности шейки и крепятся к краю суставного хряща головки, после чего дают начало *синовиальным складкам (уздечкам капсулы 11)*, самая длинная из которых формирует *гребенчато-ямочную складку Амантини (Amantini) 12*.

Эти уздечки капсулы очень важны при отведении бедра. Во время **приведения** (рис. 61) нижняя часть капсулы 1 расслабляется, а верхняя напрягается 2. При отведении (рис. 62) уздечки 3 *расплетаются* и, увеличивая длину нижней части капсулы 1, увеличивают амплитуду движения. Верхняя часть капсулы собирается в складки 2, а шейка *через губу* давит на край вертлужной впадины, при этом *губа деформируется и заворачивается 4*. Это объясняет, почему *губа углубляет вертлужную впадину, но не ограничивает движения в суставе*.

При крайнем сгибании передневерхняя поверхность шейки бедра приходит в контакт с краем вертлужной впадины, и иногда (рис. 59) на шейке в этом месте бывает *вдавнение E1 от подвздошной кости* непосредственно над краем суставного хряща.

**Артрография тазобедренного сустава** с использованием рентгенконтрастного вещества показывает следующее (рис. 63):

*круговая зона*, или кольцо Вебера 9, оставляет заметный след на капсуле в середине и разделяет полость сустава на две камеры: *наружную 1* и *внутреннюю 2*. Эти две камеры образуют *верхний карман 3* наверху и *нижний карман 4* внизу. К внутренней камере прикрепляются: наверху *надлимбусный карман 5*, напоминающий шпору, верхушка которой направлена к краю вертлужной впадины (сравните с рис. 54, стр. 35), а внизу - два *вертлужных кармана 6*, как два закругленных полуострова, разделенных глубоким заливом (это след от *круглой связки головки бедра 7*). Кроме того, между головкой бедра и вертлужной впадиной можно видеть *суставное межлинейное пространство 8*.

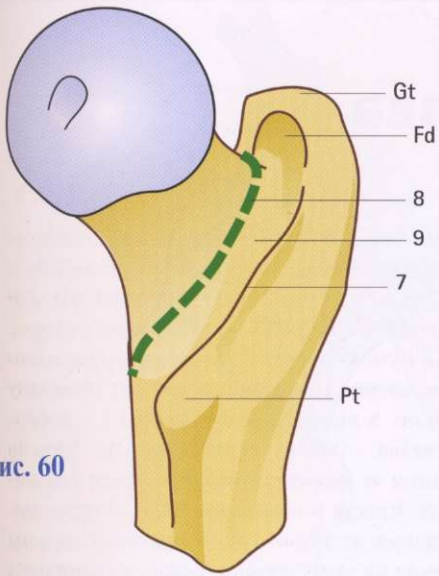


Рис. 60

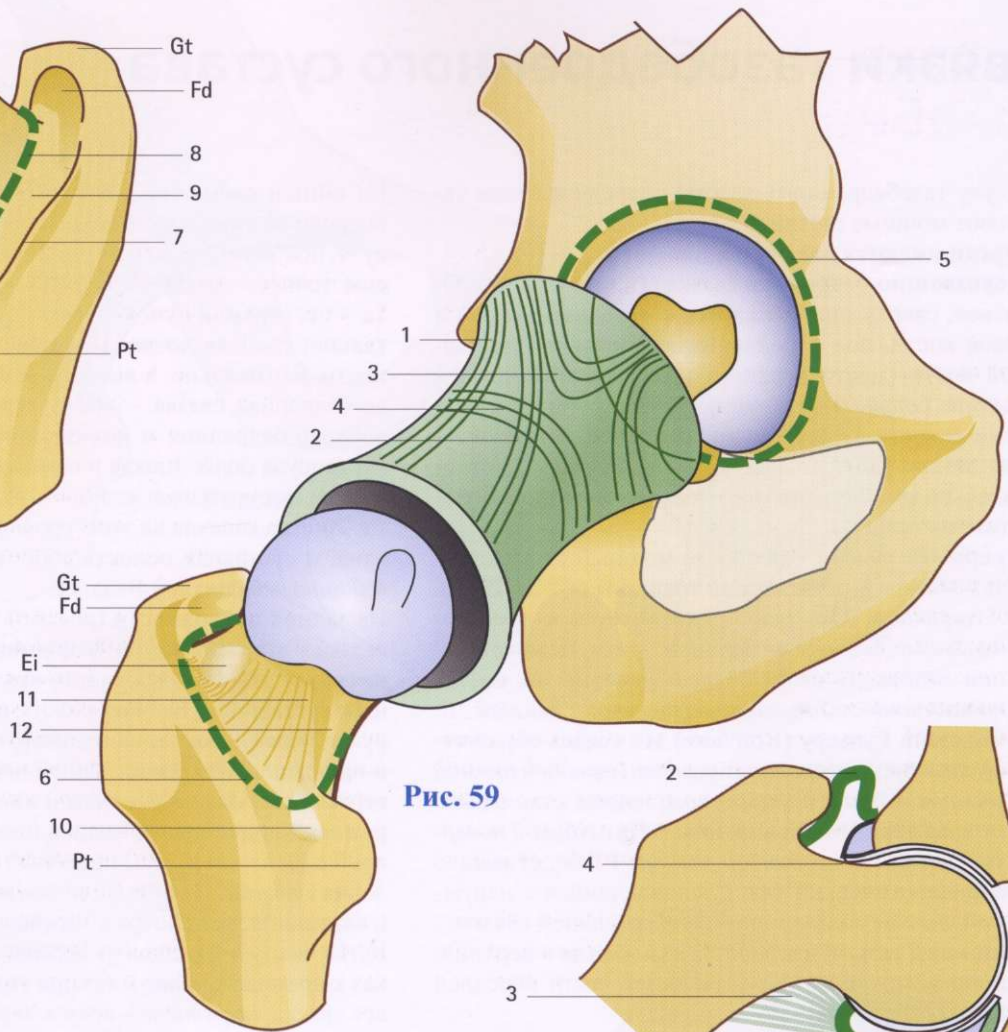


Рис. 59

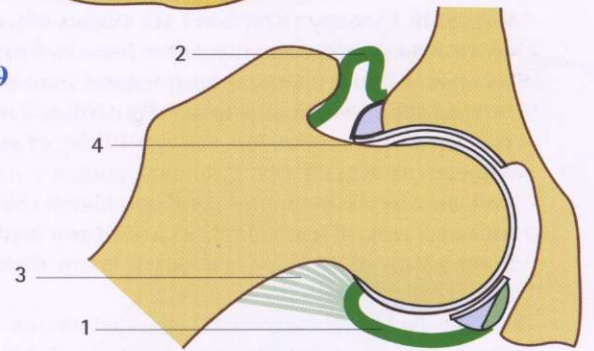


Рис. 62

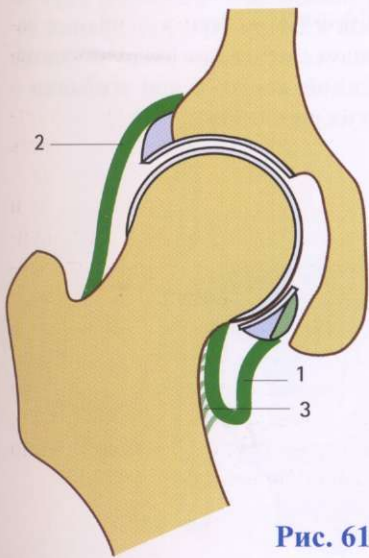


Рис. 61

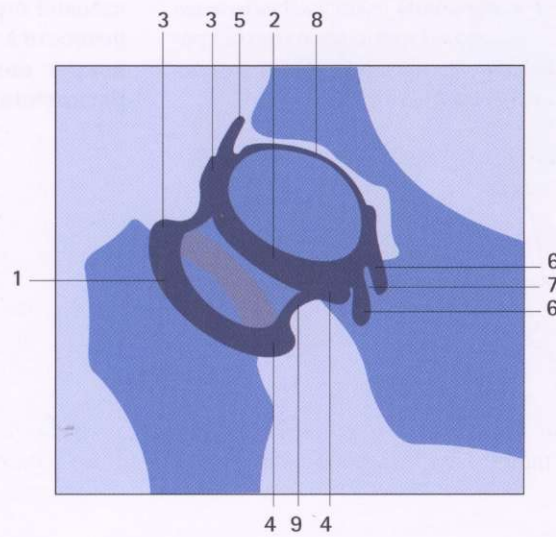


Рис. 63

# Связки тазобедренного сустава

Капсулу тазобедренного сустава спереди и сзади укрепляют мощные связки.

**Спереди** имеются две связки (рис. 64):

- **Подвздошно-бедренная связка (1a и 1b)** - веерообразная, сверху прикрепляется к передней части тазовой кости, под передненижней остью подвздошной кости (место верхнего прикрепления прямой мышцы бедра, **DA**) и снизу связка крепится к бедренной кости по всей длине передней межвертельной линии. Центральная часть этой связки **1c** относительно тонкая и слабая, а края укреплены следующими пучками:
  - **верхний тяж 1a** - наиболее мощный из всех связок сустава, достигающий толщины от 8 до 10 мм. Латерально этот тяж прикрепляется к *предвертельному бугорку* и верхней части межвертельной линии. В свою очередь, сверху он *усилен подвздошно-сухожильно-вертельной связкой d*. Согласно Рувьеру (Rouviere) эта связка образуется слиянием *возвратных волокон передней прямой мышцы бедра e* и *фиброзного тяжа*, отходящего от края вертлужной впадины **f**. На *глубокой поверхности малой ягодичной мышцы PF* берет начало апоневротический тяж **g**, сливающийся с наружной частью подвздошно-предвертельной связки.
  - **нижний тяж 1b** начинается там же, где и верхний, а внизу прикрепляется к нижней части передней межвертельной линии.
- **Лобково-бедренная связка 2** прикрепляется сверху к *передней поверхности подвздошно-гребенчатого возвышения* и к *передней губе подлобкового желоба*, где ее волокна сливаются с волокнами гребенчатой мышцы. Внизу она прикрепляется к *передней поверхности предвертельной ямки*.

На **общей схеме** (рис. 65) эти две связки, лежащие кпереди от тазобедренного сустава, напоминают букву **N**, положенную на бок (по Велькеру (Welcker)), или еще точнее - букву **Z**, *верхняя перекладина* которой **1a** - т.е. верхний пучок - расположена почти горизонтально; *средняя часть 1b* (нижний пучок) проходит почти вертикально, а *нижняя перекладина 2* - лобково-бедренная связка - лежит горизонтально. Между лобково-бедренной и подвздошно-бедренной связками капсула более тонкая и связана с сумкой, отделяющей ее от *сухожилия подвздошно-поясничной мышцы PI*. Иногда капсула на этом уровне бывает перфорирована, и суставная полость сообщается с *сумкой подвздошно-поясничной мышцы*.

На **задней поверхности** (рис. 66) имеется только одна связка - это **седалищно-бедренная связка 3**, берущая начало от задней поверхности края вертлужной впадины и суставной губы. Ее волокна, идущие кверху и кнаружи, пересекают заднюю поверхность шейки бедра **h** и прикрепляются к внутренней поверхности большого вертела *кпереди от пальцевой ямки*, куда входит и наружная запирающая мышца после того, как ее сухожилие (**белая стрелка**) пересечет бороздку у прикрепления капсулы. На рис. 67 видны некоторые ее волокна **i**, сливающиеся непосредственно с *круговой зоной j*. Когда человек перешел от передвижения на четвереньках к прямохождению и таз при этом наклонился кзади, все связки *закрутились* вокруг шейки бедра в одном и том же направлении. Рис. 68 (правый тазобедренный сустав, вид снаружи) показывает, что связки идут по часовой стрелке от таза к бедру. При **разгибании** конечности в тазобедренном суставе они **закручиваются вокруг шейки бедренной кости**, а при **сгибании - раскручиваются**, что их расслабляет.

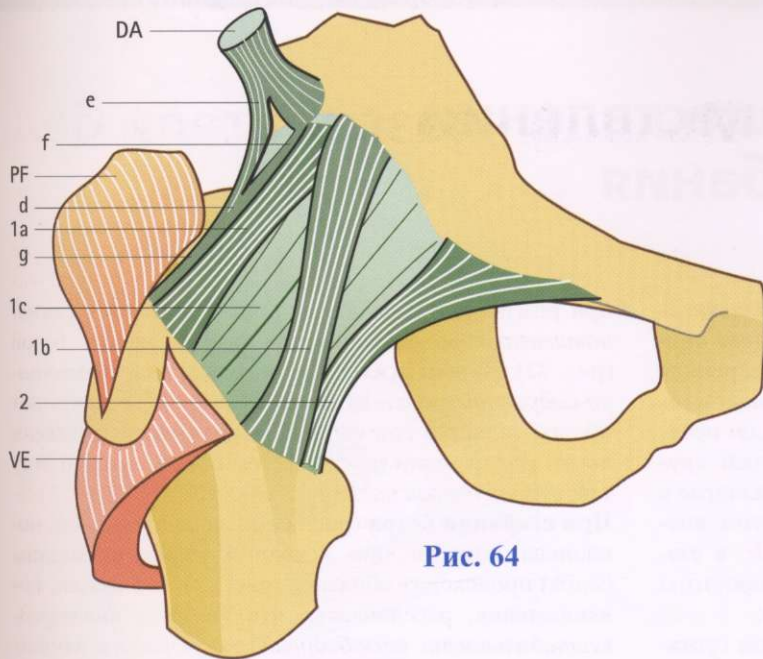


Рис. 64

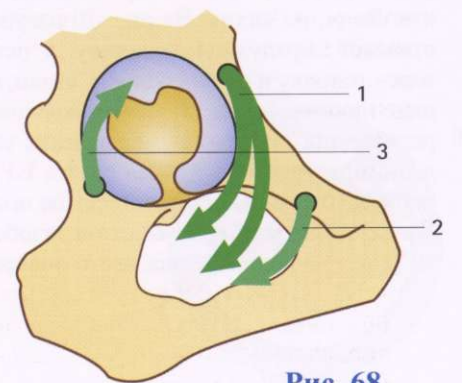


Рис. 68

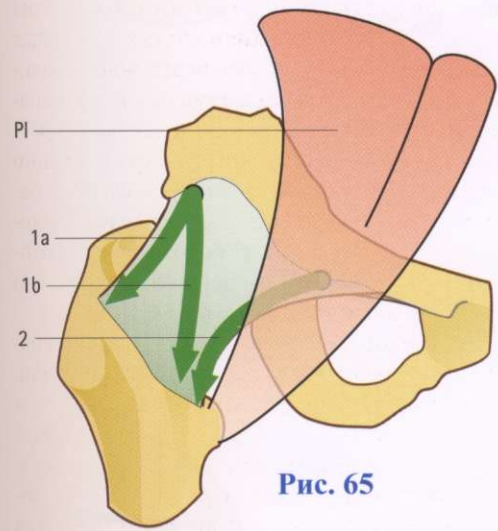


Рис. 65

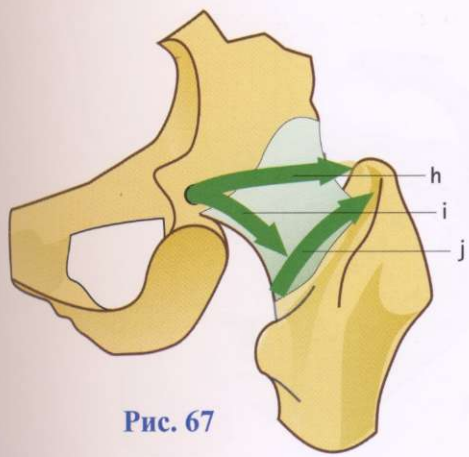


Рис. 67

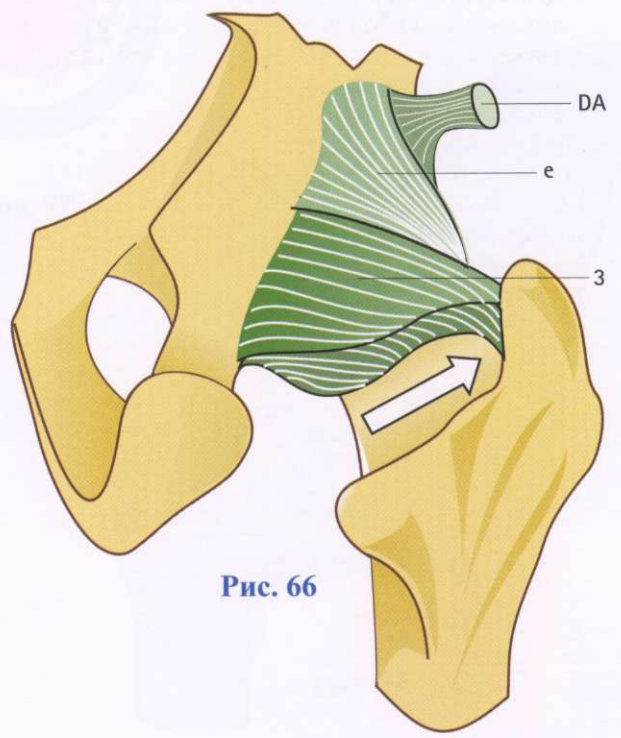


Рис. 66

# Роль связок в осуществлении сгибания и разгибания

**В положении стоя** (рис. 69) связки умеренно натянуты. На рисунке схематично показаны два пучка подвздошно-бедренной связки IF и лобково-бедренная связка PF, седалищно-бедренная связка, расположенная сзади, не видна. На рис. 70 голубое кольцо представляет вертлужную впадину, а центральный кружок - головку и шейку бедра. Связки, изображенные в виде пружин, проходят между кольцом и кругом, впереди видна подвздошно-бедренная связка IF, а сзади - седалищно-бедренная связка IsF, (для простоты лобково-бедренная связка здесь не показана).

**При разгибании** конечности в тазобедренном суставе (рис. 71, подвздошная кость поворачивается кзади

при разгибании зафиксированного бедра) *все связки натягиваются, закручиваясь вокруг шейки бедра* (рис. 72). Из всех этих связок *нижний тяж подвздошно-бедренной связки 1p* (рис. 82, стр. 45) натянут наиболее сильно в той его части, которая расположена почти вертикально (рис. 71), тем самым именно этот тяж *ограничивает наклон таза кзади*.

**При сгибании бедра** (рис. 73, подвздошная кость наклонена кпереди при сгибании зафиксированного бедра) происходит обратное (рис. 74): все связки, без исключения, расслаблены, что является *фактором нестабильности тазобедренного сустава* в данном положении.



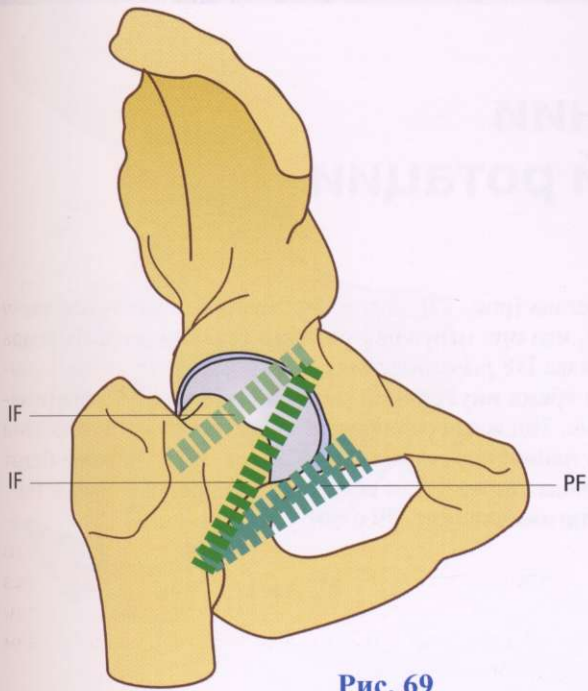


Рис. 69

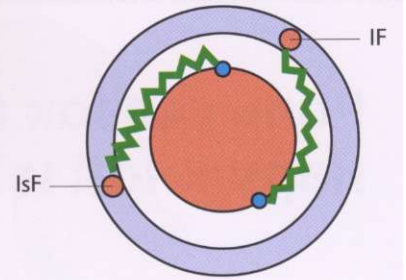


Рис. 70

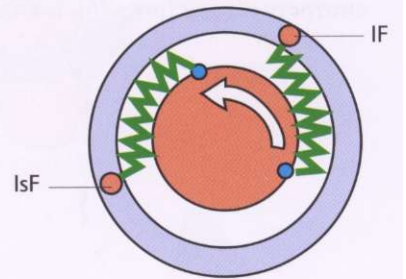


Рис. 74

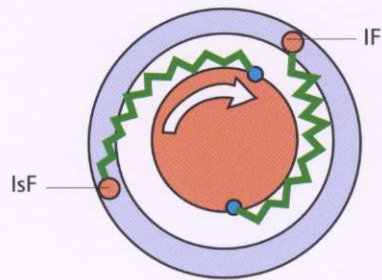


Рис. 72

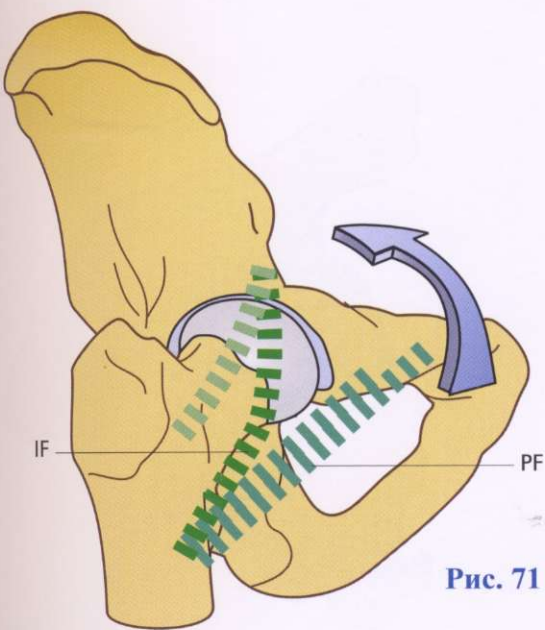


Рис. 71

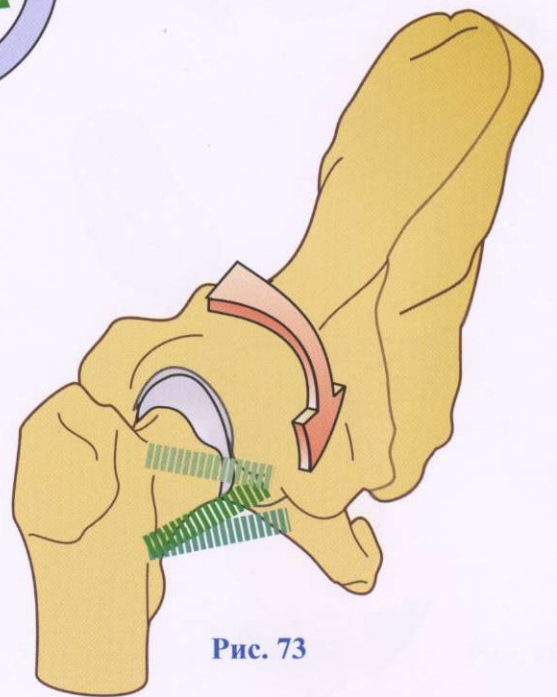


Рис. 73

# Роль связок в обеспечении наружной и внутренней ротации

При **наружной ротации бедра** (рис. 75) передняя межвертельная линия отдалается от края вертлужной впадины, вследствие чего натягиваются все передние связки тазобедренного сустава, особенно идущие горизонтально - это *подвздошно-вертельный пучок IP* и *лобково-бедренная связка PF*. Натяжение передних связок хорошо видно на горизонтальном срезе, если смотреть сверху (рис. 76), и в задневерхней проекции

сустава (рис. 77). Эти иллюстрации показывают также, что при наружной ротации *седалищно-бедренная связка IsF расслабляется*.

Во время **внутренней ротации** происходит обратное (рис. 78): все передние связки расслабляются, особенно *подвздошно-вертельный пучок IP* и *лобково-бедренная связка PF*, а *седалищно-бедренная связка IsF* натягивается (рис. 79 и 80).

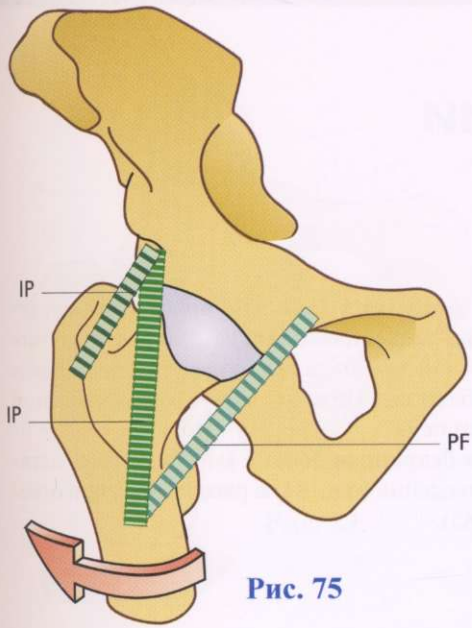


Рис. 75

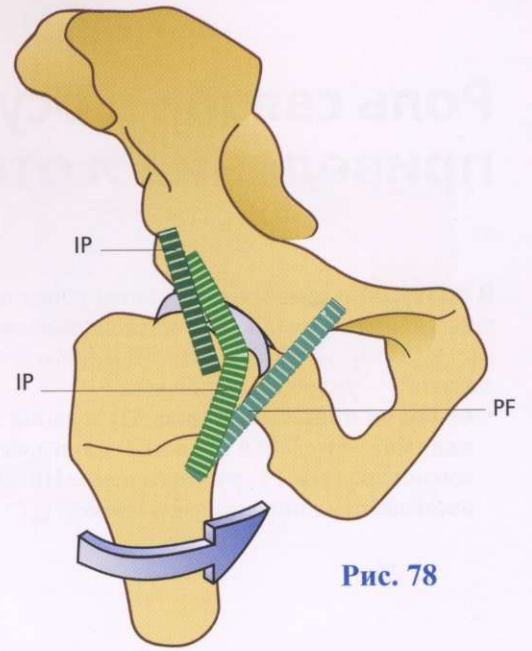


Рис. 78

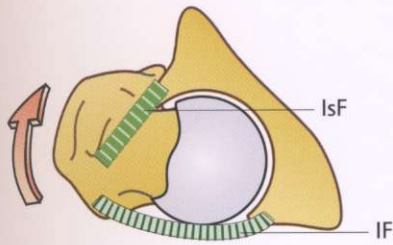


Рис. 76

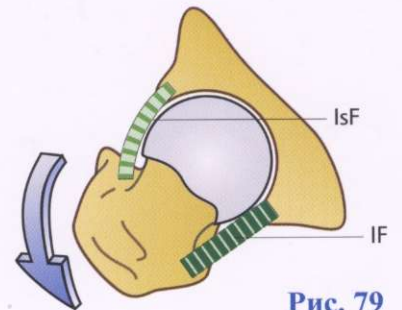


Рис. 79

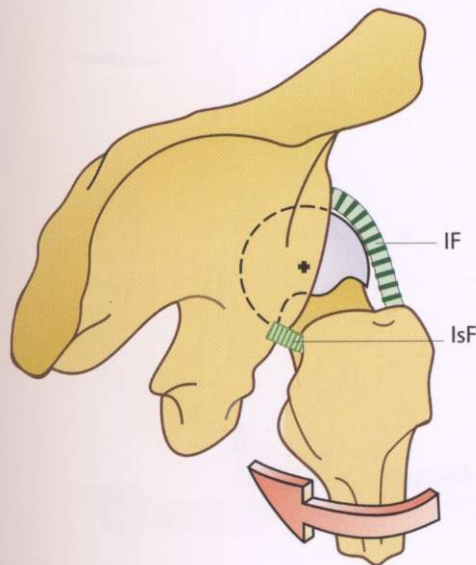


Рис. 77

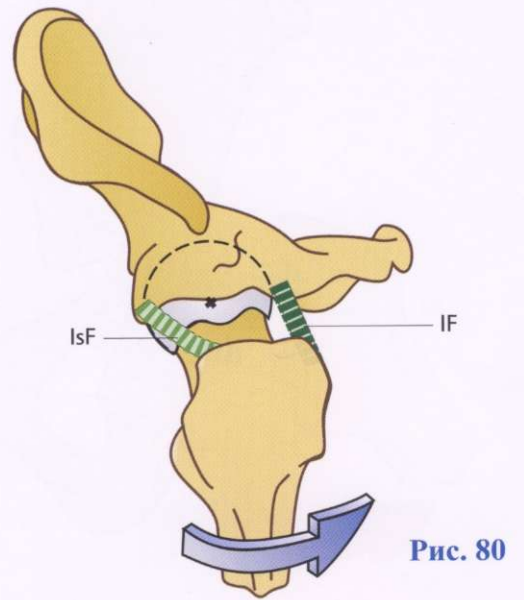


Рис. 80

# Роль связок в осуществлении приведения и отведения

**В положении стоя** (рис. 81), когда передние связки — подвздошно-бедренная связка со своими двумя пучками, *верхним* TP и *нижним* 1p и *лобково-бедренная* связка PГ - умеренно натянуты:

- **во время приведения** (рис. 82) верхний пучок подвздошно-вертельной связки IP натягивается, а лобково-бедренная PF расслабляется. Нижний тяж 1p натягивается лишь незначительно.

- **Во время отведения** (рис. 83) происходит обратное: лобково-бедренная связка PГ натягивается, тогда как верхний тяж подвздошно-вертельной связки IP расслабляется. Нижний тяж 1p расслаблен в меньшей степени.

**Подвздошно-бедренная связка IsF** (вид сзади) натянута при приведении (рис. 84) и расслаблена при отведении (рис. 85).

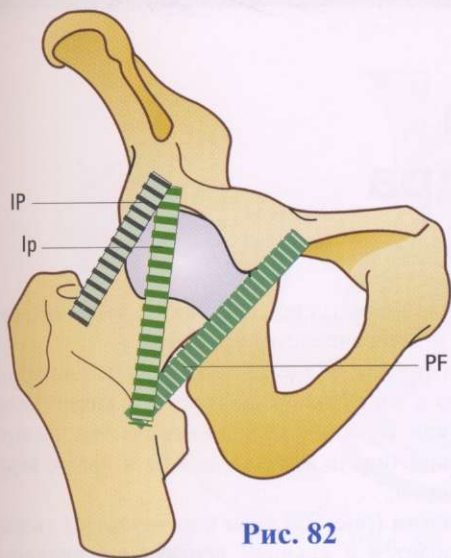


Рис. 82

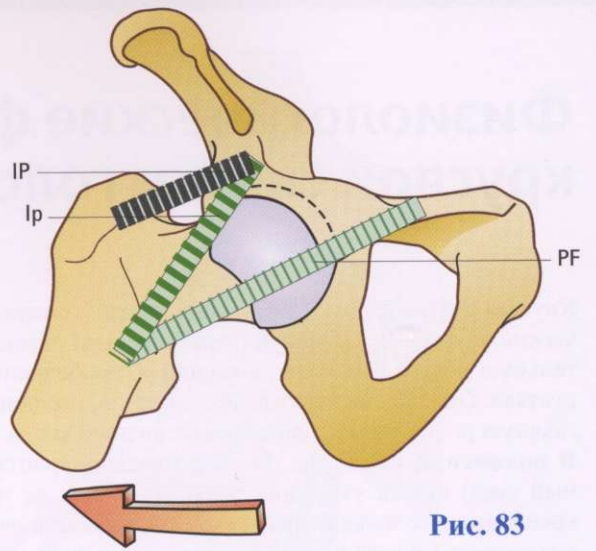


Рис. 83

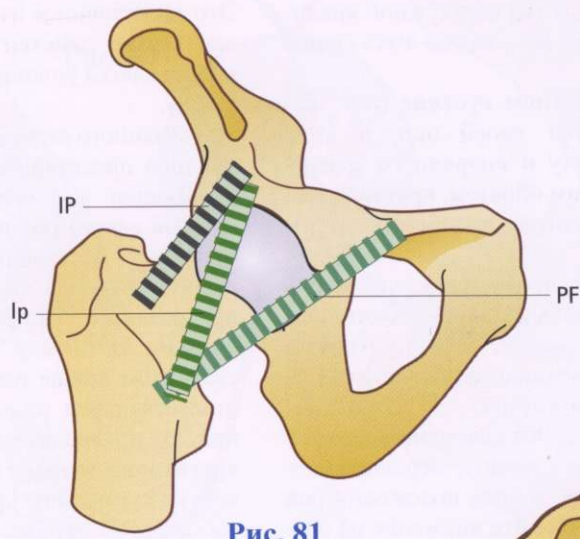


Рис. 81

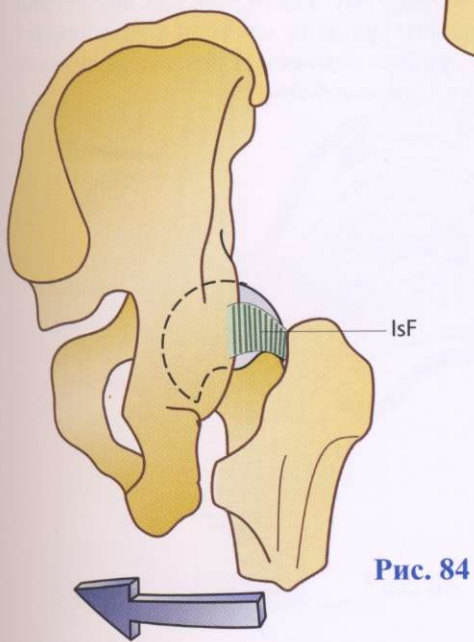


Рис. 84

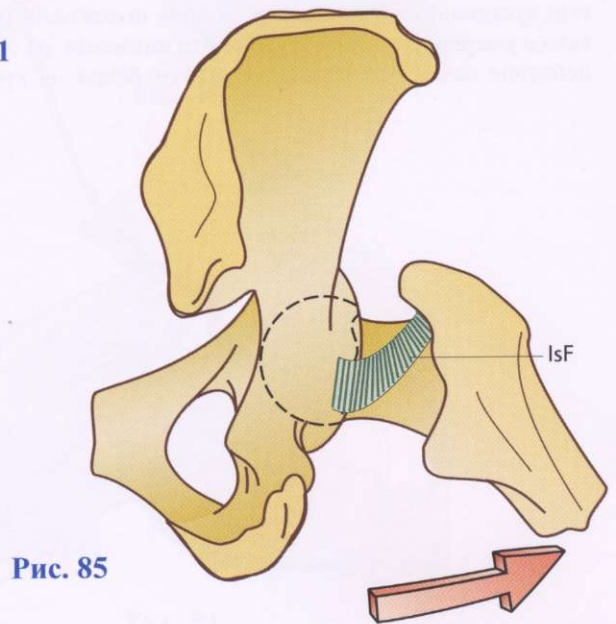


Рис. 85

# Физиологические функции круглой связки головки бедра

Круглая связка головки бедренной кости - *анатомический рудимент*, который играет весьма незначительную роль в контроле движений в тазобедренном суставе. Однако она несет в себе артерию, играющую главную роль в кровоснабжении бедренной кости.

**В положении стоя** (рис. 86, вертикально-фронтальный срез) связка умеренно натянута, точка ее прикрепления к головке бедра занимает *промежуточное положение 1* в вертлужной впадине, чуть ниже и позади от центра (рис. 87, схема, ямки вертлужной впадины, показывающая *различные положения ямки связки головки бедра*).

При **сгибании в тазобедренном суставе** (рис. 88) связка закручивается вокруг своей оси, и ямка (рис. 87) оказывается сверху и впереди от центра вертлужной впадины 2. Таким образом, круглая связка не играет никакой роли в ограничении амплитуды сгибания.

При **внутренней ротации** (рис. 89, горизонтальный срез, вид сверху) ямка смещена назад, и область прикрепления круглой связки к головке бедра приходит в контакт с задней частью суставного полукружья 3. Связка остается умеренно натянутой.

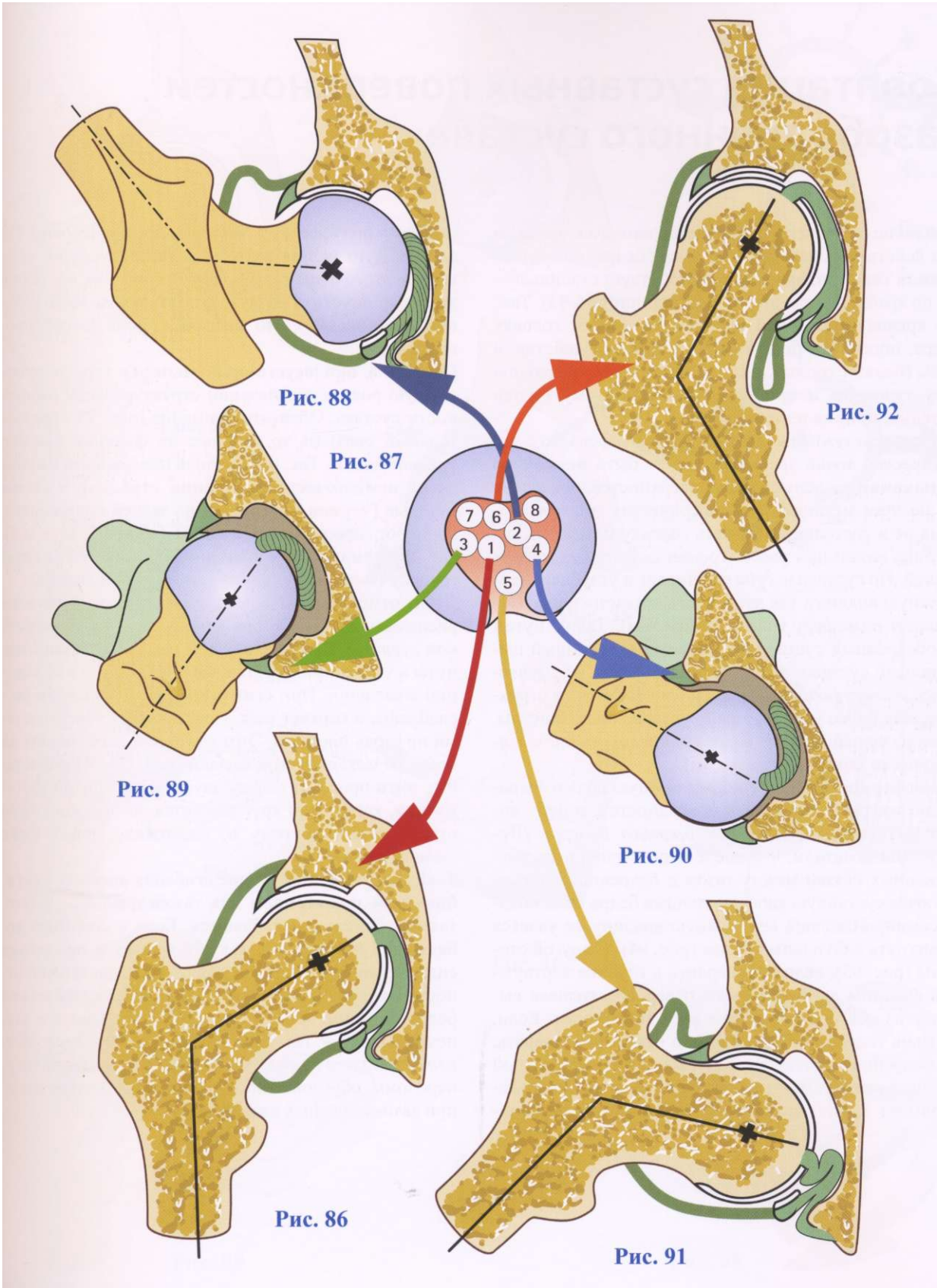
При **наружной ротации** (рис. 90) ямка перемещается впереди, и связка приходит в контакт с передней частью суставного полукружья 4; в этом положении она также умеренно натянута. Обратите внимание на воздействие задней поверхности шейки бедра на край

вертлужной впадины через суставную губу, которая уплощается и заворачивается наружу.

При **отведении** (рис. 91) ямка перемещается книзу по направлению к вертлужной вырезке 5, и связка складывается вдвое. Суставная губа оказывается зажатой между верхней поверхностью шейки и краем вертлужной впадины.

При **приведении** (рис. 92) ямка перемещается кверху 6 и соприкасается с крышей вертлужной впадины. Это единственное из всех положений, в котором круглая связка действительно натянута. Нижний край шейки слегка уплощает суставную губу и поперечную связку.

Из сказанного становится очевидным, что вертлужная впадина представляет собой *место, где происходят абсолютно все перемещения точки прикрепления круглой связки* (включая крайнее заднее 7 и крайнее переднее 8 положения, которые соответствуют положению ямки при приведении, разгибании и внутренней ротации 7 и приведении, сгибании и наружной ротации 8). Между этими крайними положениями в суставном хряще имеется неглубокое вдавление, соответствующее положению минимального приведения, т.е. приведения во фронтальной плоскости, когда другая нога мешает ему. Таким образом, внутренний контур суставного хряща не случаен, а представляет собой *линию крайних положений точки прикрепления круглой связки к головке бедра*.



# Коаптация суставных поверхностей тазобедренного сустава

В отличие от плечевого сустава, склонного к вывихам под действием силы тяжести, в тазобедренном суставе **сила тяжести**, наоборот, способствует стабильности, по крайней мере, при прямостоянии (рис. 93). Там, где крыша вертлужной впадины покрывает головку бедра, последняя прижимается к ней под действием силы (**белая стрелка, направленная вверх**), равной весу туловища и противоположенной ему (**белая стрелка, направленная вниз**).

Так как вертлужная впадина - это полусфера, то с механической точки зрения не может быть **истинного замыкания** сочленяющихся поверхностей, поскольку по законам механики полусферическая костная впадина не в состоянии удержать головку бедра, что отчетливо видно при рассмотрении скелета без мягких тканей. Но суставная губа расширяет и углубляет вертлужную впадину, так что в итоге объем полости *превышает полусферу (черные стрелки)*. Таким путем тазобедренный сустав превращается в истинный шаровидный сустав с *фиброхрящевой губой, удерживающей головку бедренной кости*. Эта фиброзная структура еще более усиливается круговой зоной капсулы, охватывающей головку бедра (**показано на срезе маленькими синими стрелками**).

**Атмосферное давление** играет важную роль в сохранении контакта суставных поверхностей, о чем свидетельствуют *эксперименты братьев Веберов (Weber)*. Они заметили, что после пересечения всех мягкотканых связей между тазом и бедренной костью, включая суставную капсулу, головка бедра не покидает самопроизвольно вертлужную впадину, ее удается вывихнуть с большим трудом (рис. 94). С другой стороны (рис. 95), если просверлить в глубине вертлужной впадины даже маленькое отверстие, головка выпадет из нее под действием веса конечности. Если, вправив головку во впадину, это отверстие заделать, то бедренная кость будет держаться в вертлужной впадине сама и вывихнуть ее будет сложно. Этот эксперимент можно сравнить с классическим экспери-

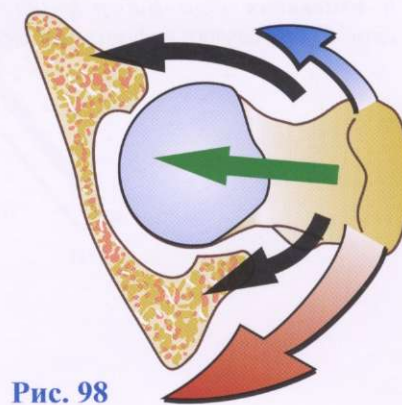
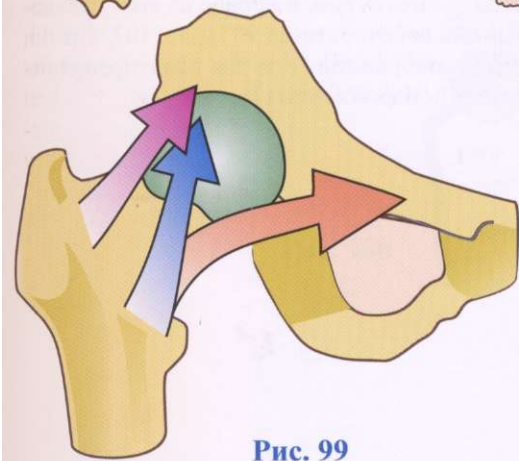
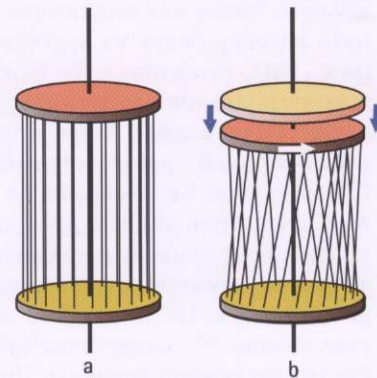
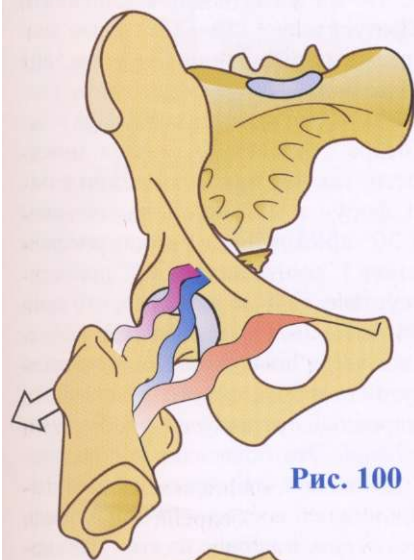
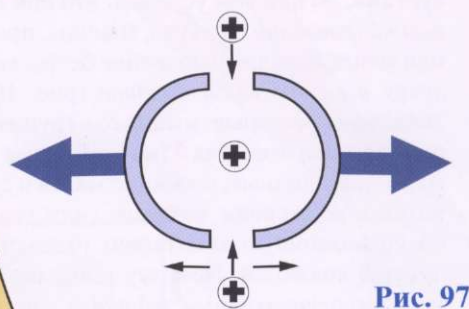
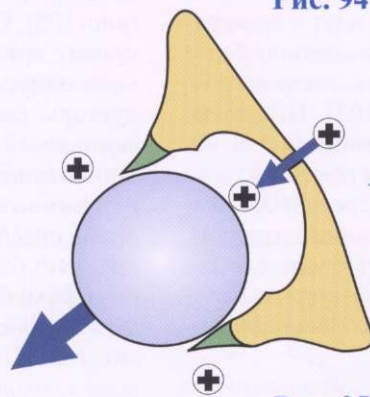
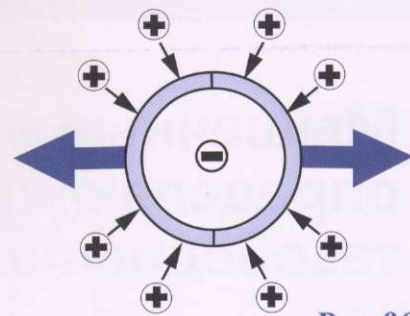
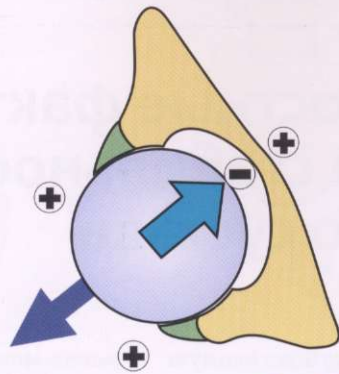
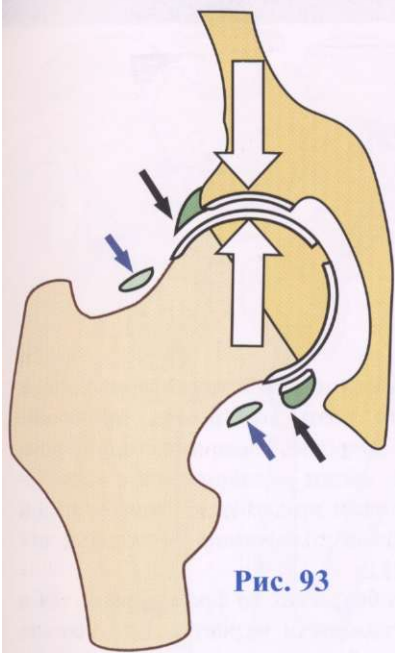
ментом с полусферами Магдебурга (Magdebourg). Он показал, что нельзя разделить две полусферы, если внутри этого шара создан вакуум (рис. 96), но, если в этот шар впустить воздух, его половины легко разъединятся (рис. 97). Это доказывает роль атмосферного давления.

**Связки и околосуставные мышцы** играют очень важную роль в обеспечении структуральной целостности сустава. Обратите внимание (рис. 98, горизонтальный срез) на то, что все их функции взаимно уравновешены. Так, на передней поверхности мышцы очень немногочисленны (**синяя стрелка**), а связки мощные (**черная стрелка**), а на задней поверхности, наоборот, преобладают мышцы (**красная стрелка**). Их скоординированное взаимодействие удерживает головку (**зеленая стрелка**) в вертлужной впадине.

Стоит отметить, что действие связок изменяется в зависимости от *положения конечности в тазобедренном суставе*. При **разгибании** (рис. 99) связки натянуты и удерживают суставные поверхности в положении коаптации. При **сгибании** (рис. 100) связки расслаблены, и контакт между суставными поверхностями не столь плотный. Этот механизм легко понять на примере механической модели (рис. 101). Параллельные нити проходят между двумя деревянными кругами **а**, и, когда один круг движется по окружности по отношению к другому **б**, расстояние между ними уменьшается.

Таким образом, положение сгибания является **нестабильным положением** для тазобедренного сустава, так как связки расслабляются. Если к сгибанию добавляется приведение, как это бывает в положении сидя, закинув ногу на ногу (рис. 102), достаточно относительно небольшой силы, воздействующей по оси бедра (**коричневая стрелка**), чтобы привести к заднему вывиху в тазобедренном суставе *с переломом или без заднего края вертлужной впадины* (например, переломы, обусловленные ударом о приборную доску при автомобильных авариях).





# Мышечные и костные факторы, определяющие стабильность тазобедренного сустава

Околосуставные мышцы играют существенную роль в обеспечении стабильности тазобедренного сустава, но при том условии, что они идут в *поперечном направлении*. По сути, мышцы, проходящие более или менее параллельно шейке бедра, удерживают головку в вертлужной впадине (рис. 103). Например, лобково-вертельные мышцы - грушевидная 1 и наружная запирательная 2 (на этой схеме показаны только они), ягодичные, особенно малая и средняя 3, в значительной степени создают силу (**синяя стрелка**), обеспечивающую коаптацию головки бедра с вертлужной впадиной. Поэтому они называются мышцами, обеспечивающими контакт сочленяющихся поверхностей.

С другой стороны, *продольно ориентированные мышцы*, такие как аддукторы 4, стремятся вывихнуть головку бедра из вертлужной впадины вверх (рис. 103), особенно если ее крыша скошена. Скошенность крыши вертлужной впадины имеется при врожденном вывихе бедра и легко распознается на переднезадней рентгенограмме таза (рис. 104). В норме угол Хильгенрайнера (Hilgenreiner) между горизонтальной линией, проходящей через хрящи на уровне У, и линией, проведенной тангенциально к крыше вертлужной впадины, составляет 25° у новорожденных и 15° в возрасте одного года. Наличие угла свыше 30° свидетельствует о врожденном дефекте вертлужной впадины. Диагноз вывиха ставится на основании наличия смещения «ядра» головки бедра *кверху выше У-линии* (симптом Путти (Putti)) и изменения угла Виберга (Wiberg) (см. рис. 37, стр. 27). В случае деформации вертлужной впадины

вывих может произойти под действием приводящих мышц 4', особенно если конечность приведена (рис. 103). С другой стороны, «вывихивающий» компонент приводящих мышц *уменьшается с увеличением отведения*, причем при полном отведении аддукторы *способствуют сближению суставных поверхностей* (рис. 105).

**Ориентация шейки бедра** как во фронтальной, так и в горизонтальной плоскости играет существенную роль в обеспечении стабильности сустава. Ранее было показано (стр. 26), что **во фронтальной плоскости** ось шейки бедра образует угол в 120-125° с осью диафиза (**а**, рис. 106, схема тазобедренного сустава, вид спереди). При врожденном вывихе бедра *этот угол* может достигать до 140° Б, т.е. имеется соха valga-деформация шейки бедра с увеличением угла между шейкой и телом кости, так что при приведении с ось шейки уже «имеет фору» в 20° перед нормальным суставом. Поэтому 30° приведения в патологическом тазобедренном суставе Р соответствует 50° приведения в нормальном суставе. Сейчас известно, что приведение *усугубляет вывихивающее действие аддукторов*, поэтому соха valga *способствует развитию измененного тазобедренного сустава* будет *стабильным в положении отведения*. Это объясняет использование определенных положений, в которых осуществляется иммобилизация нижней конечности при *лечении врожденного вывиха бедра*, и первое из этих положений - отведение конечности на 90° (рис. 107, стр. 53, схематическое изображение поз для предупреждения вывиха бедра у новорожденных).

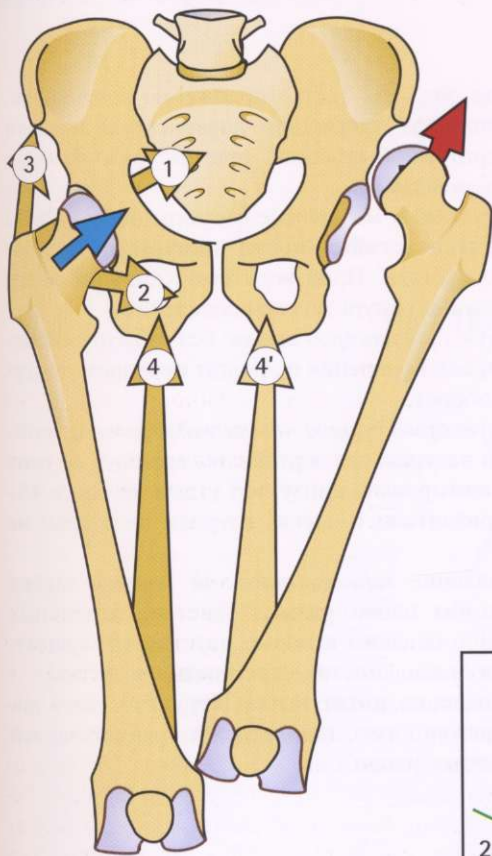


Рис. 103

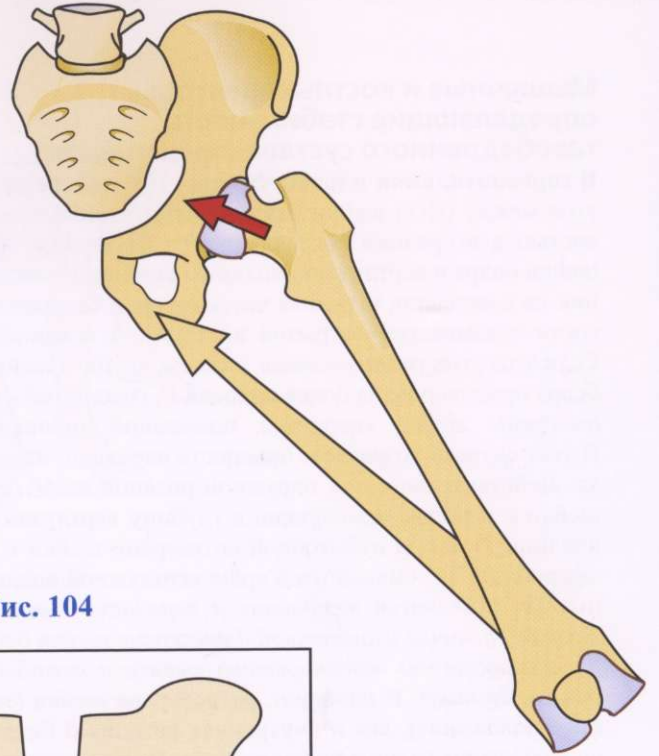


Рис. 105

Рис. 104

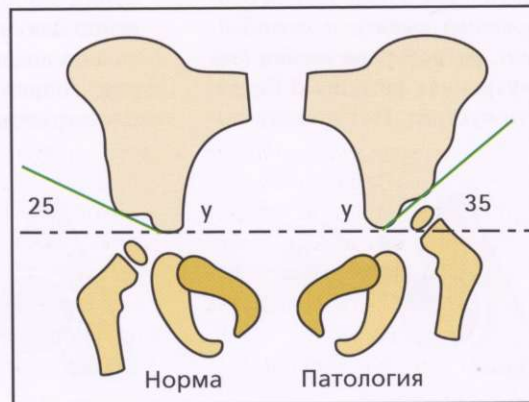
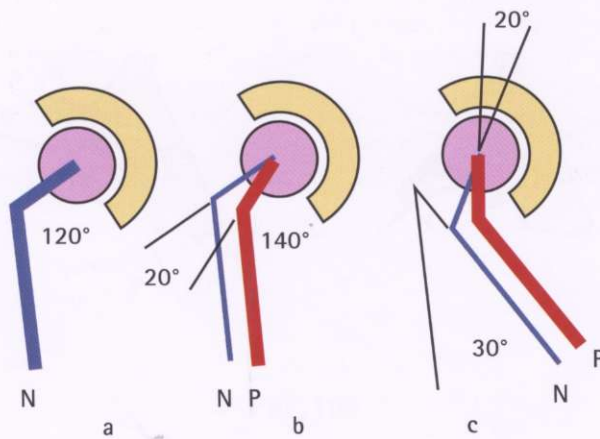


Рис. 106



### **Мышечные и костные факторы, определяющие стабильность тазобедренного сустава (продолжение)**

В горизонтальной плоскости (рис. 108, вид сверху) угол между осью шейки бедра и фронтальной плоскостью **a** в среднем составляет **20°**. Поскольку оси шейки бедра и вертлужной впадины при прямохождении не совпадают, передняя часть головки бедренной кости оказывается покрытой вертлужной впадиной. Если этот угол *увеличивается*, скажем, до **40°** и шейка бедра ориентирована более кпереди **b**, говорят об *антеверсии шейки* (переднее положение головки). В этих случаях возрастает опасность переднего вывиха. Действительно, при наружной ротации в **25°** ось шейки **c** в норме «*смотрит*» в глубину вертлужной впадины **N**, а при избыточной антеверсии шейки **P** с «*форой*» на **20°** смещается к краю вертлужной впадины, т.е. появляется *тенденция к переднему вывиху*. Поэтому *наличие избыточной антеверсии шейки бедра способствует возникновению вывиха в тазобедренном суставе*. И наоборот, ретроверсия шейки (заднее положение), как и внутренняя ротация **d** бедра, способствуют стабильности сустава. Вот почему по-

казанное на рис. 107 третье положение конечности, используемое для удержания вправленной головки бедра в вертлужной впадине, сочетает разгибание с *внутренней ротацией*.

Эти структурные и мышечные факторы очень важны для обеспечения **стабильности эндопротезов** тазобедренного сустава. Производя его тотальное эндопротезирование, хирург должен обеспечить:

- *правильную ориентацию шейки*: без избыточной антеверсии, если операция проходит передним доступом и наоборот;
- *правильную ориентацию чашки эндопротеза*, которая, как и натуральная вертлужная впадина, должна быть ориентирована книзу под углом не более 45-50° к горизонтали и слегка кпереди под углом не более 15°;
- восстановление «*функциональной длины*» шейки бедра, чтобы плечо рычага действия ягодичных мышц было близким к норме, так как это существенно для стабильности искусственного сустава.

Большое значение имеет выбор хирургического доступа, сопряженного с наименьшей травматизацией околосуставных мышц.

Рис. 107

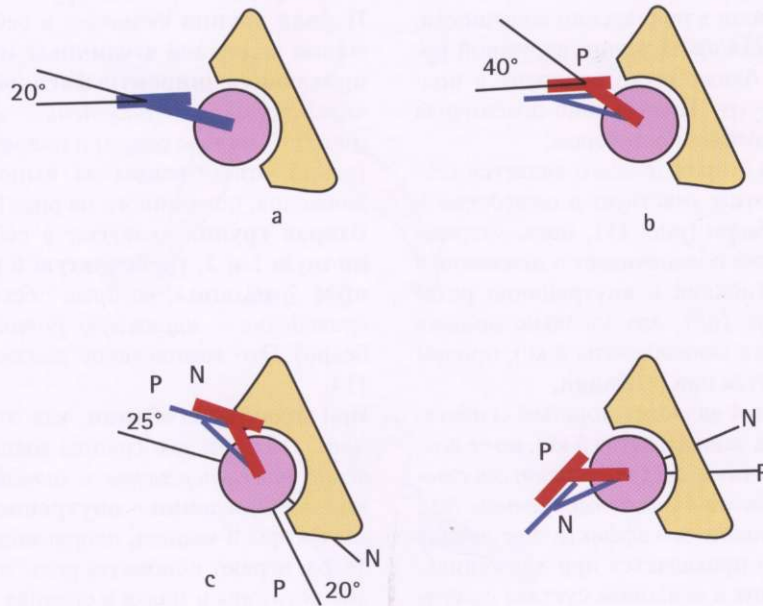
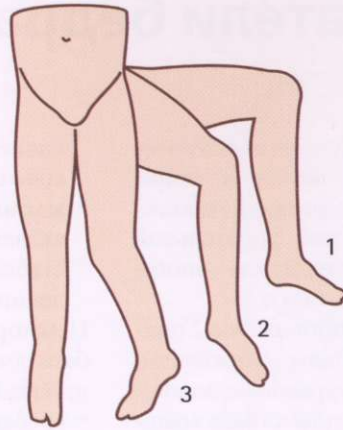


Рис. 108

# Мышцы-сгибатели бедра

Эти мышцы находятся *кпереди от фронтальной плоскости, которая проходит через центр сустава* (рис. 109). Все они расположены *кпереди от оси сгибания-разгибания ХХ'*, лежащей в этой фронтальной плоскости. Мышцы-сгибатели чрезвычайно многочисленны (рис. 110, прозрачный вид таза):

- **поясничная мышца 1** и **подвздошная мышца 2** прикрепляются к *малому вертелу* общим сухожилием, это сухожилие резко изгибается на уровне подвздошно-лобкового бугра. Подвздошно-поясничная мышца — самый мощный из всех сгибателей тазобедренного сустава и самый протяженный (верхние волокна ее подвздошной части прикрепляются к XII грудному позвонку). Ее действие в качестве аддуктора оспаривается многими авторами, несмотря на то что ее сухожилие проходит медиальнее переднезадней оси. Это отсутствие приводящей функции может объясняться тем, что вертушка малого вертела *расположена на механической оси нижней конечности* (рис. 49, стр. 31). Но существуют и свидетельства в пользу ее некоторой роли в приведении конечности, поскольку при сгибании/приведении/ наружной ротации малый вертел ближе всего подходит к подвздошно-лобковому бугру. Подвздошно-поясничная мышца является и наружным ротатором;
- **портняжная мышца 3** прежде всего является *сгибателем* и наряду с этим участвует в *отведении и наружной ротации бедра* (рис. 111, нога, ударяющая по мячу); она также обеспечивает и движения в *коленном суставе* (сгибание и внутреннюю ротацию, см. **рис. 253, стр. 165**). Это довольно мощная мышца (мышечная тяга эквивалентна 2 кг), причем 90% ее силы реализуется при сгибании;
- **прямая мышца бедра 4** является мощным сгибателем (ее мышечная тяга эквивалентна 5 кг), но ее воздействие на тазобедренный сустав *зависит от степени сгибания конечности в коленном суставе* (см. **стр. 161**). Чем оно больше, тем эффективнее данная мышца. Это особенно проявляется при движениях, сочетающих разгибание в коленном суставе со сги-

банием в тазобедренном, как это бывает при выносе конечности вперед при ходьбе (рис. 112);

- **мышца, напрягающая широкую фасцию бедра 5**, является довольно *мощным сгибателем*, а также стабилизирует таз (см. **стр. 62**) и участвует в отведении конечности.

Некоторые мышцы, не будучи непосредственно сгибателями, тем не менее, играют немаловажную роль при выполнении этого движения:

- **гребенчатая мышца 6**, являющаяся прежде всего *приводящей*;
- **длинная приводящая мышца 7**, обеспечивающая сгибание до определенного уровня (см. **стр. 66**);
- **тонкая мышца 8**;
- **самые передние волокна малой и средней ягодичных мышц 9**.

Все эти сгибатели тазобедренного сустава могут участвовать в *приведении/отведении или наружной/внутренней ротации*. В зависимости от их действия их можно разделить на две группы.

**Первая группа** включает в себя *передние волокна малой и средней ягодичных мышц 9* и *мышцу, напрягающую широкую фасцию бедра 5*. Они обеспечивают *сгибание — отведение — внутреннюю ротацию* (рис. 110, правое бедро) и полностью или преимущественно ответственны за выполнение футболистом движения, показанного на рис. 113.

**Вторая группа** включает в себя *подвздошно-поясничную 1 и 2, гребенчатую 6 и длинную приводящую 7 мышцы*, которые обеспечивают *сгибание - приведение - наружную ротацию* (рис. 110, левое бедро). Это комплексное движение показано на рис. 114.

При **простом сгибании**, как это бывает при *ходьбе* (рис. 112), эти две группы мышц работают *упорядоченно как синергисты и антагонисты*. При **сгибании - приведении - внутренней ротации** (рис. 115) аддукторы и мышца, напрягающая широкую фасцию бедра, играют основную роль, им помогают внутренние ротаторы и малая и средняя ягодичные мышцы.

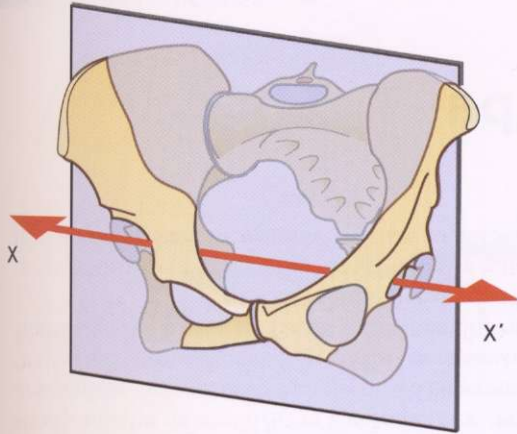


Рис. 109

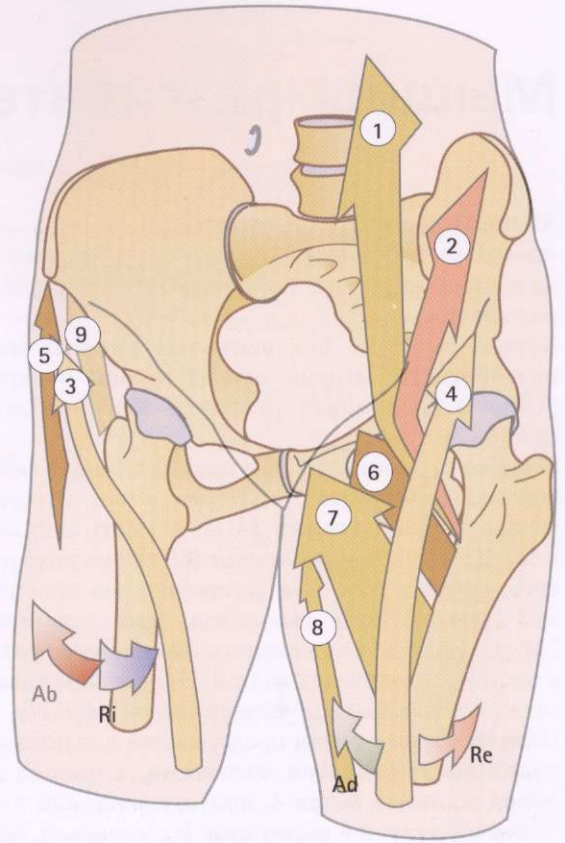


Рис. 110



Рис. 111

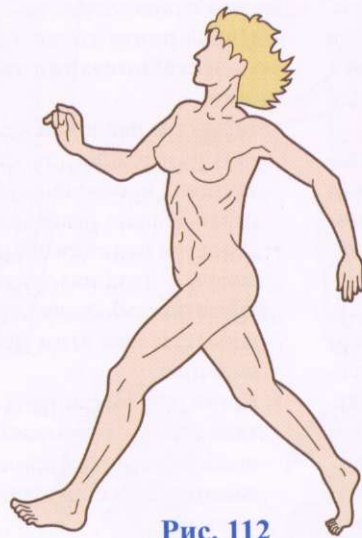


Рис. 112



Рис. 113

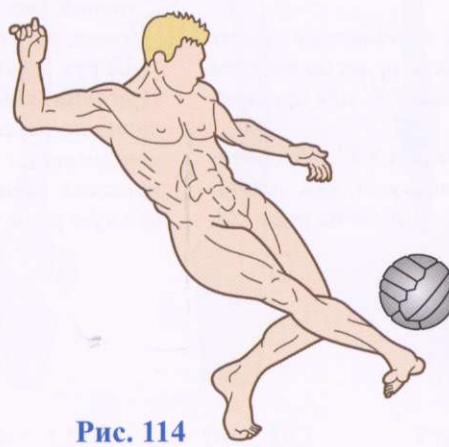


Рис. 114

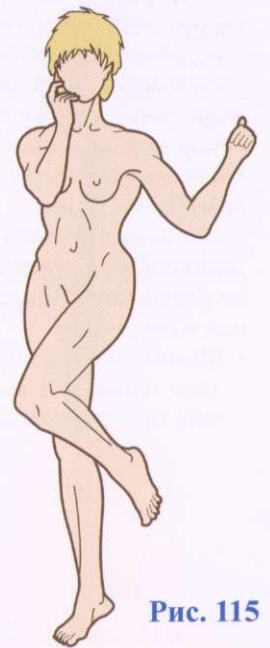


Рис. 115

# Мышцы-разгибатели бедра

**Мышцы-разгибатели** лежат кзади от фронтальной плоскости, проходящей через центр сустава (рис. 116), на которой находится *поперечная ось XX'* сгибания и разгибания.

Можно выделить две **основные группы мышц-разгибателей**: мышцы первой группы прикрепляются к бедру, а второй - в области коленного сустава (рис. 117).

В **первой группе** наиболее важной мышцей является **большая ягодичная 1 и 1'**. Это *самая мощная* (ее мощность эквивалентна 34 кг, а длина сокращения равна 15 см) и *самая большая* (66 см<sup>2</sup> на поперечном срезе) мышца тела. Соответственно она является *самой сильной* (ее статическая сила эквивалентна 238 кг). Ей помогают самые задние волокна **средней 2 и малой 3 ягодичных мышц**. Эти мышцы являются также и *наружными ротаторами* (см. стр. 76).

**Вторая группа** мышц представлена в основном **седалищно-бедренными мышцами**, а именно **двуглавой мышцей бедра 4, полусухожильной 5 и полуперепончатой 6 мышцами**. Их мощность эквивалентна 22 кг, т.е. 66% мощности большой ягодичной мышцы. Они являются *двусуставными мышцами*, поэтому эффективность их воздействия на тазобедренный сустав *зависит от положения коленного сустава*. Фиксация коленного сустава в положении разгибания усиливает их разгибательную функцию в тазобедренном суставе, что свидетельствует о наличии синергизма между седалищно-бедренными и четырехглавой мышцами бедра (*особенно с прямой мышцей*). В эту же группу входят некоторые *приводящие мышцы* (см. стр. 66—68), особенно *большая приводящая мышца 7*, которая *также участвует* в разгибании бедра.

Мышцы-разгибатели бедра могут выполнять и другие (вторичные) функции в зависимости от их положения по отношению к переднезадней оси УУ' для приведения и отведения:

- Мышцы, проходящие **кверху от оси УУ'**, обеспечивают *отведение* вместе с разгибанием, как, например, при танцевальном па, показанном на рис. 118.

Тут участвуют **самые задние волокна** малой 3 и средней 2 ягодичных мышц и самые верхние волокна большой ягодичной мышцы 1'.

- Мышцы, проходящие **книзу от оси УУ'**, обеспечивают *отведение и разгибание*, как при движении, показанном на рис. 119. Это **седалищно-бедренные мышцы, аддукторы** (те, что лежат позади фронтальной плоскости) и наибольшая часть **большой ягодичной мышцы 1**.

Чтобы обеспечить «чистое» разгибание (рис. 120), т.е. без сочетанного приведения или отведения, эти две группы мышц сокращаются, *действуя как синергисты и антагонисты*.

Мышцы-разгибатели бедра играют существенную роль в **стабилизации таза в переднезаднем направлении**:

- Когда таз наклонен кзади (рис. 121), т.е. в направлении разгибания, он стабилизируется только *натяжением подвздошно-бедренной связки IF*, которая ограничивает разгибание (см. рис. 71, стр. 41).
- Имеется положение (рис. 122), в котором центр тяжести С таза находится непосредственно *над центром тазобедренного сустава*. Сгибатели и разгибатели при этом неактивны, а равновесие *неустойчиво*.
- Когда таз наклоняется кпереди (рис. 123), центр тяжести С оказывается *впереди поперечной оси тазобедренных суставов*, и седалищно-бедренные мышцы II сокращаются первыми, чтобы выпрямить таз.
- Если наклон таза кпереди усиливается (рис. 124), то сокращаются уже *большая ягодичная мышца F* и *седалищно-бедренные мышцы*, которые тем эффективней, чем больше разгибание в коленном суставе (*стоя, в положении наклона туловища вперед, пальцы рук касаются стоп*).

**При обычной ходьбе** разгибание обеспечивается седалищно-бедренными мышцами, и *большая ягодичная мышца в этом не участвует*. Однако при беге, прыжках, ходьбе по наклонной плоскости она играет важную роль, что объясняет ее сильное развитие.



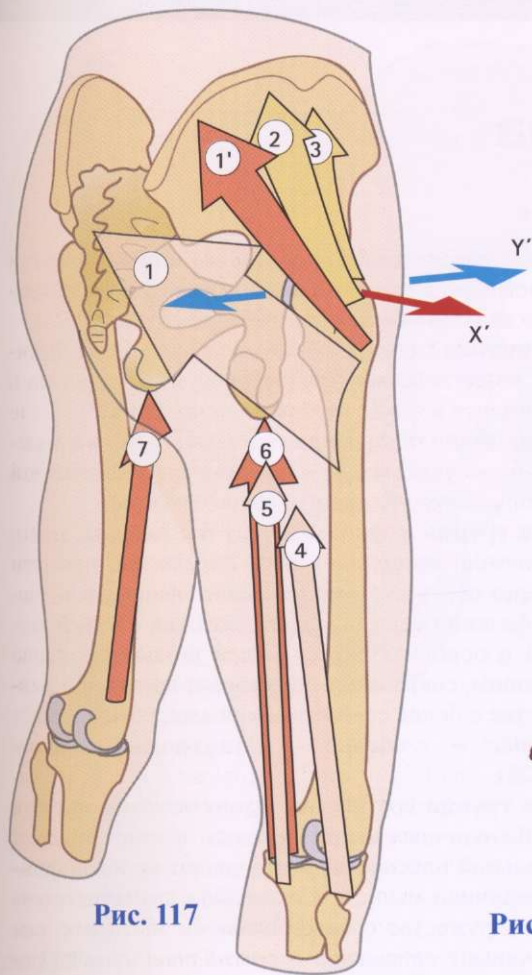


Рис. 117

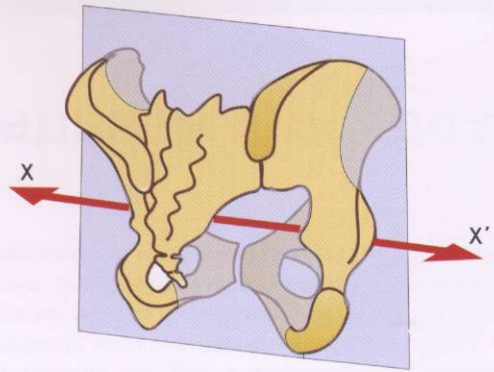


Рис. 116

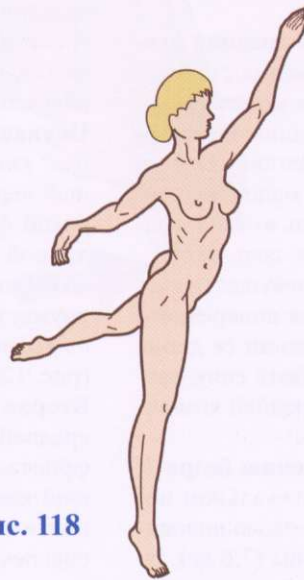


Рис. 118

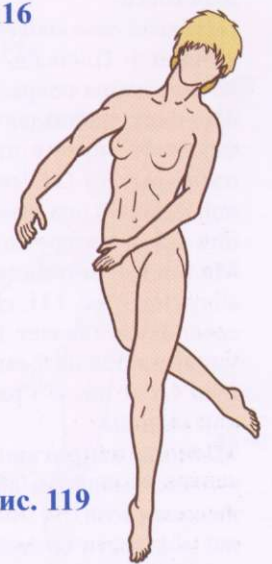


Рис. 119

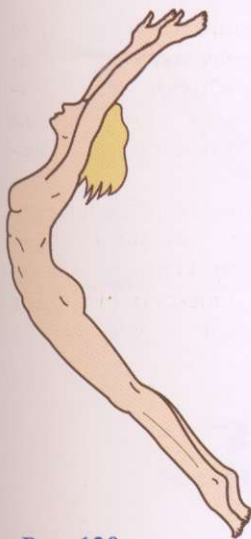


Рис. 120

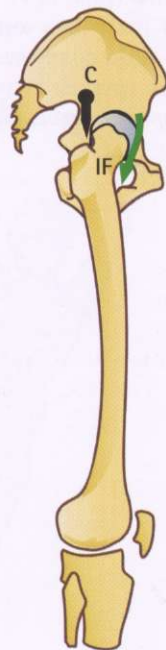


Рис. 121

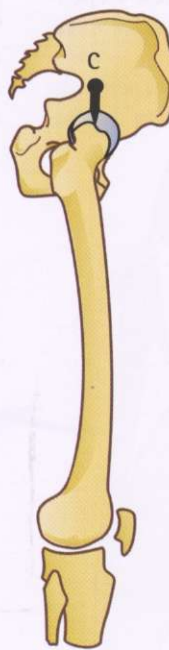


Рис. 122

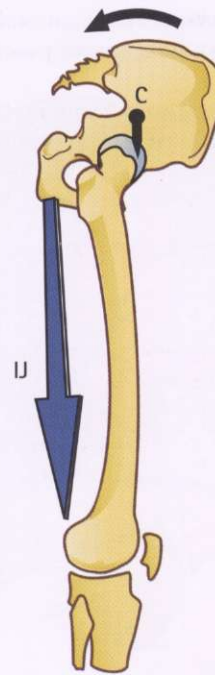


Рис. 123

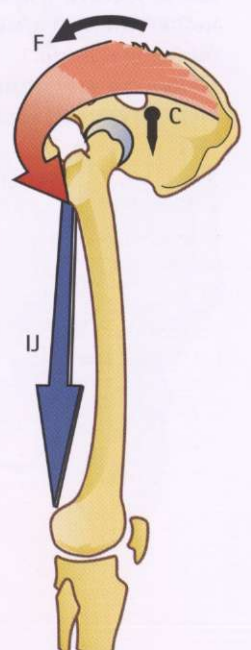


Рис. 124

## Отводящие мышцы бедра

**Отводящие мышцы** лежат *кнаружи от сагиттальной плоскости*, которая пересекает центр сустава (рис. 125), и идут кнаружи и кверху от переднезадней оси УУ', вокруг которой осуществляются приведение и отведение, находящейся в той же сагиттальной плоскости.

**Основной отводящей мышцей** является **средняя ягодичная 1**. Площадь ее поперечного среза составляет 40 см<sup>2</sup>, длина сокращения - 11 см. Она может развивать силу, эквивалентную 16 кг. Эта мышца очень эффективна, потому что она почти перпендикулярна к плечу рычага **ОТ** (рис. 126). Наряду с малой ягодичной мышцей она играет важнейшую роль в стабилизации таза в поперечном направлении (см. стр. 62).

**Малая ягодичная мышца 2** - это преимущественно абдуктор (рис. 131, стр. 61). Площадь ее поперечного сечения составляет 15 см<sup>2</sup>, при сокращении ее длина уменьшается на 9 см. Она может развивать силу, равную 4,9 кг, т.е. в 3 раза меньше силы средней ягодичной мышцы.

**Мышца, напрягающая широкую фасцию бедра 3**, является мощным абдуктором при вертикальном положении тела. Ее мощность составляет около половины мощности средней ягодичной мышцы (7,6 кг), но плечо рычага у нее значительно длиннее, чем у средней ягодичной мышцы. Она также *участвует в стабилизации таза*.

**Большая ягодичная мышца 4** участвует в отведении только *самыми верхними своими волокнами* (ее основ-

ная масса обеспечивает приведение), а также теми поверхностными волокнами, которые входят в так называемую дельтовидную мышцу бедра» (рис. 131).

**Грушевидная мышца 5** является бесспорным абдуктором, но ее действие трудно продемонстрировать в эксперименте из-за ее глубокого положения.

В соответствии с их *вторичной ролью в осуществлении сгибания/разгибания и приведения/отведения* эти абдукторы можно разделить на **две группы**.

**Первая группа** включает в себя все мышцы, *лежащие кпереди от фронтальной плоскости*, проходящей через центр сустава, а именно: напрягатель широкой фасции бедра, передние волокна средней ягодичной и основную массу малой ягодичной мышц. Эти мышцы, сокращаясь без участия других или в содружестве с более слабыми мышцами, обеспечивают *отведение - сгибание - внутреннюю ротацию* (рис. 128).

**Вторая группа** состоит из задних волокон малой и средней ягодичных мышц (волокна, лежащие кзади от фронтальной плоскости) и отводящих волокон большой ягодичной мышцы. Сокращаясь самостоятельно или в содружестве с более слабыми мышцами, они обеспечивают *отведение — разгибание — наружную ротацию* (рис. 129).

Чтобы получить **«чистое» отведение** (рис. 130) без каких-либо содружественных движений, эти две мышечные группы должны работать как *сбалансированная пара синергистов - антагонистов*.

Рис.

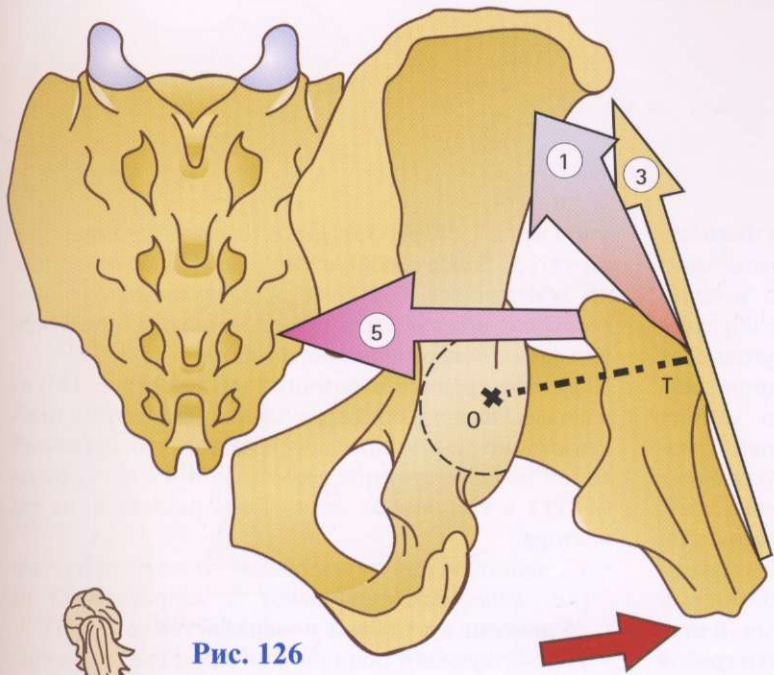


Рис. 126

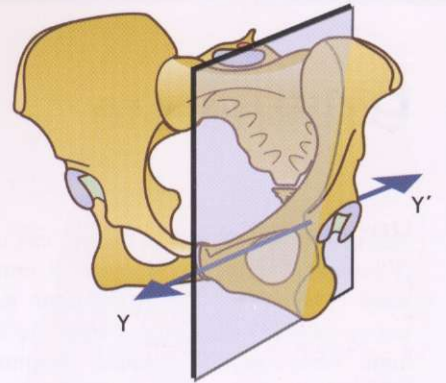


Рис. 125

Рис. 128



Рис. 129



Рис. 130

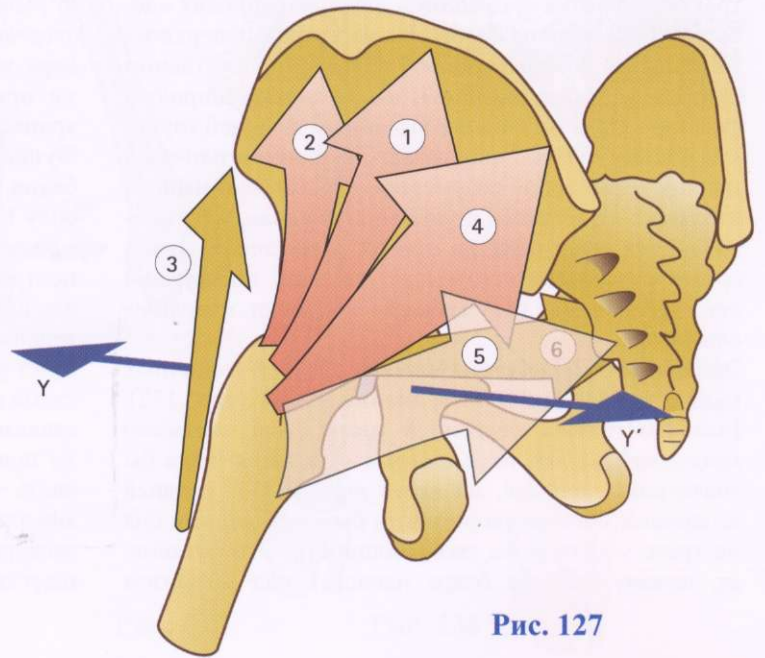


Рис. 127

# Отведение

**Дельтовидная мышца бедра**, как ее назвал Фарабеф (Farabeuf), представляет собой широкий мышечный веер (рис. 131), покрывающий наружную поверхность тазобедренного сустава. Ее название обусловлено *треугольной формой*. Вершина треугольника обращена вниз, а анатомически и функционально данная мышца напоминает дельтовидную мышцу плечевого сустава. Но в отличие от последней, являющейся единым целым, она имеет *два мышечных брюшка*, лежащих у переднего и заднего краев треугольника. *Спереди мышца, напрягающая широкую фасцию бедра* 1, берущая начало от передневерхней ости подвздошной кости 2, проходит косо книзу и кзади. *Сзади поверхностные волокна большой ягодичной мышцы* 3, отходящие от задней трети гребня подвздошной кости и от задней поверхности крестца и копчика, идут косо книзу и кпереди. Эти две мышцы соответственно прикрепляются к **переднему и заднему краю подвздошно-большеберцового тракта** 4, разделяющемуся на поверхностный и глубокий слои, между которыми и оказываются вышеназванные мышцы. Подвздошно-большеберцовый тракт представляет собой длинный мощный тяж, образующий часть широкой фасции бедра. После прикрепления мышцы, напрягающей широкую фасцию бедра и верхних волокон большой ягодичной мышцы, этот тракт становится сухожилием для прикрепления «дельтовидной мышцы бедра» 5 к наружной поверхности мышелка большеберцовой кости на подсуставном бугорке 6. Между мышцей, напрягающей широкую фасцию бедра, и большой ягодичной мышцей глубокая фасция бедра 7 покрывает среднюю ягодичную мышцу. Само собой разумеется, что эти две мышцы, входящие в «дельтовидную мышцу бедра», могут сокращаться раздельно, но при их *совместном сокращении* сухожилие испытывает тягу по продольной оси, и «дельтовидная мышца» вызывает *«чистое» отведение*.

Эффективность действия малой и средней ягодичных мышц **зависит от длины шейки бедра** (рис. 132). Если бы головка бедренной кости была *посажена прямо на диафиз*, то амплитуда отведения была бы значительно больше, но *плечо рычага ОТ'* средней ягодичной мышцы укоротилось бы *в три раза*, и она на треть утратила бы свою мощность. Это объясняет, почему головка бедра нависает над диафизом

(см. стр. 27, 29, 31, 33), делая данную механическую структуру более слабой и уменьшая объем отведения, но обеспечивая *большую эффективность средней ягодичной мышцы*, что существенно для стабилизации таза в поперечном направлении.

**Действие средней ягодичной мышцы** (рис. 133) на плечо рычага шейки бедра зависит от степени отведения конечности. Когда бедро разогнуто, мышечная тяга F не действует под прямым углом к плечу рычага ОТ1 и тем самым может быть разложена на два вектора:

- {", действующий по направлению к центру сустава (т.е. *центростремительно*) и направленный на **сближение суставных поверхностей** (рис. 133),
- f, действующий под прямым углом (т.е. *тангенциально*) и тем самым представляющий *эффективную мышечную силу*, инициирующую отведение.

Следовательно, по мере увеличения отведения (рис. 134) вектор f" проявляет тенденцию к уменьшению, а вектор Г - к увеличению. Тем самым средняя ягодичная мышца начинает участвовать *больше в выполнении отведения*, чем в *обеспечении контакта между сочленяющимися поверхностями сустава*. Ее роль в выполнении отведения становится максимальной, когда оно достигает примерно 35°, т.е. направление мышечной тяги становится *перпендикулярно плечу рычага ОТ2* и таким образом f\* совпадает с F и *вся энергия сокращения используется для отведения*. Теперь мышца оказывается короче на величину Т1Т2, т.е. приблизительно на треть ее длины, но все же сохраняет около 1/6 своей экскурсии при сокращении. **Функцию мышцы, напрягающей широкую фасцию бедра**, можно описать таким же образом (рис. 135). Ее силу F, действующую на ось подвздошной кости С1, можно разложить на следующие два вектора: f"1 - центростремительный, f\*2 - тангенциальный, проявляющийся при наклоне таза. По мере увеличения отведения (рис. 136) вектор f2 возрастает, но никогда не будет равен общей силе F мышцы. С другой стороны, схема показывает, что укорочение мышцы СБ С2 составляет лишь малую часть ее длины от точки начала до прикрепления. Это объясняет, почему мышечная часть этой мышцы такая короткая по сравнению с сухожильной, поскольку известно, что максимальная экскурсия мышцы во время ее сокращения не превышает половины длины ее сократительных волокон.

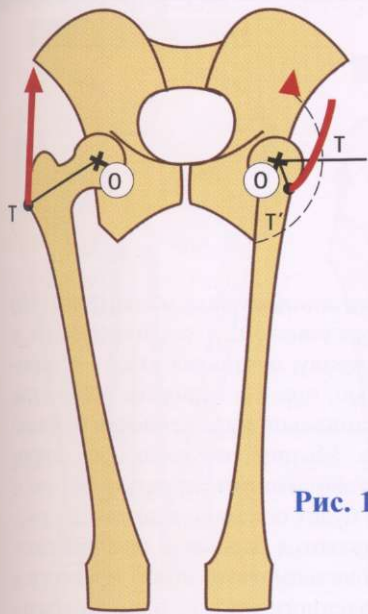


Рис. 132

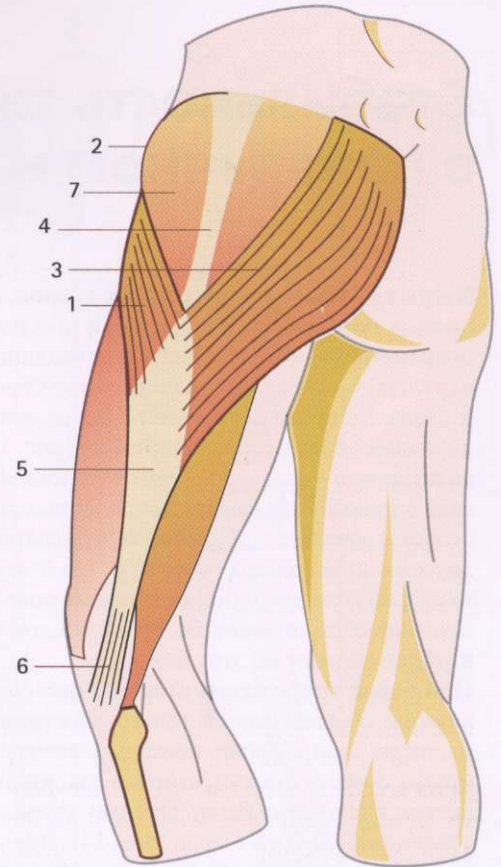


Рис. 131

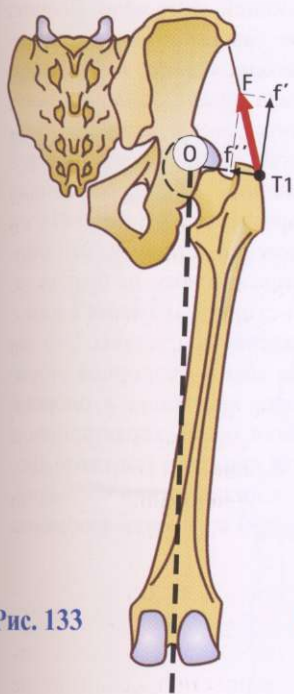


Рис. 133

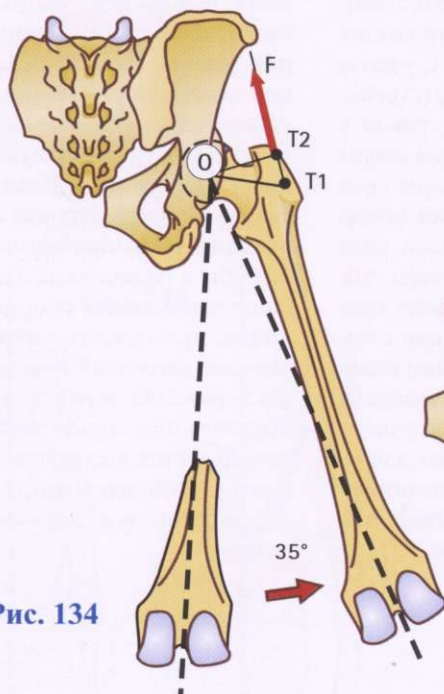


Рис. 134



Рис. 135

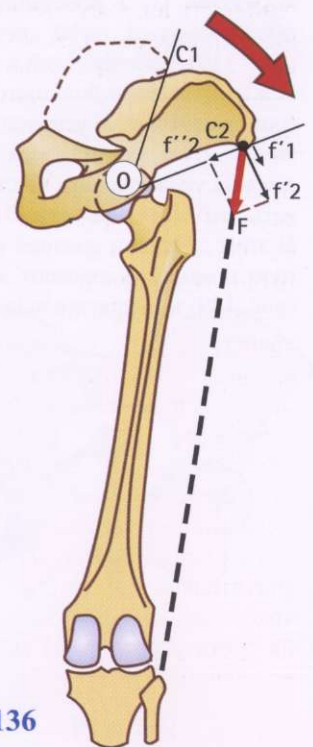


Рис. 136

## Стабильность таза в поперечном направлении

Когда таз имеет опору с обеих сторон, его стабильность в поперечном направлении обеспечивается одновременным сокращением приводящих (**красные стрелки**) и отводящих мышц (**синие стрелки**) справа и слева. Если это антагонистическое действие мышц должным образом сбалансировано (рис. 137), таз *стабилизирован в симметричном положении*, как это бывает в положении «смирно» у военных. Если с одной стороны преобладает действие отводящих мышц, а с другой - приводящих (рис. 138), таз *будет наклонен* в ту сторону, где доминирует функция приведения. Если мышечное равновесие не будет восстановлено, произойдет падение на этот бок.

**При опоре таза с одной стороны** (рис. 139) его стабилизация обеспечивается только действием отводящих мышц на этой стороне, поскольку вес тела Р с учетом центра тяжести будет стремиться наклонить таз по отношению к опорному бедру. Поэтому таз можно сравнить с *системой рычагов I типа* (рис. 141), где точкой опоры будет опорное бедро О, нарушающая равновесие сила представлена весом тела Р, действующим через *центр тяжести* G, а восстанавливающая равновесие сила обеспечивается тягой *средней ягодичной мышцы* MF (рис. 139), действующей в наружной подвздошной ямке E в направлении большого вертела Т. Чтобы при стоянии на одной ноге удержать таз в горизонтальном положении, сила, развиваемая средней ягодичной мышцей, должна уравновесить вес тела. При этом нужно учитывать, что плечи рычага OE и OG не равны по длине. В этом действии средней ягодичной мышце значительную помощь оказывают малая ягодичная мышца MF (рис. 139) и напрягатель широкой фасции бедра TFL.

При *недостаточности одной из этих мышц* (рис. 140) вес тела не будет уравновешен, и таз наклонится в противоположную сторону, составляя **угол а** с горизонтальной плоскостью, причем величина этого угла будет прямо пропорциональна выраженности мышечной недостаточности. Мышца, напрягающая широкую фасцию бедра, стабилизирует не только таз, но и *коленный сустав*, как будет показано дальше (см. рис. 154, стр. 127), она является *активной боковой связкой*, и ее паралич в конечном счете может привести к расширению щели коленного сустава в его латеральной части (**угол б**).

Стабилизация таза средней, малой ягодичными мышцами и мышцей, напрягающей широкую фасцию бедра, имеет существенное значение для **нормальной ходьбы** (рис. 142). Благодаря этому в одноопорной фазе поперечная ось таза, представленная *линией, соединяющей подвздошные кости*, остается горизонтальной и параллельной линии, соединяющей плечевые суставы. Если мышцы, поддерживающие таз, на опорной стороне парализованы (рис. 143), он наклоняется в противоположную сторону. Это привело бы к падению на данную сторону, не будь туловище наклонено к опорной стороне и вместе с ним - линия, проходящая через плечевые суставы. Это сочетание движений (наклона таза к неопорной стороне и наклона *верхней части туловища* к опорной стороне) при ходьбе является очень характерным и используется в клинической практике (симптом Дюшена - Тренделенбурга) для диагностики *частичного или полного паралича малой и средней ягодичных мышц*.

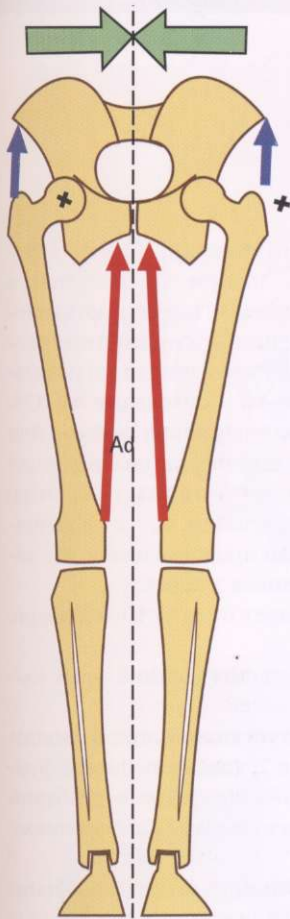


Рис. 137

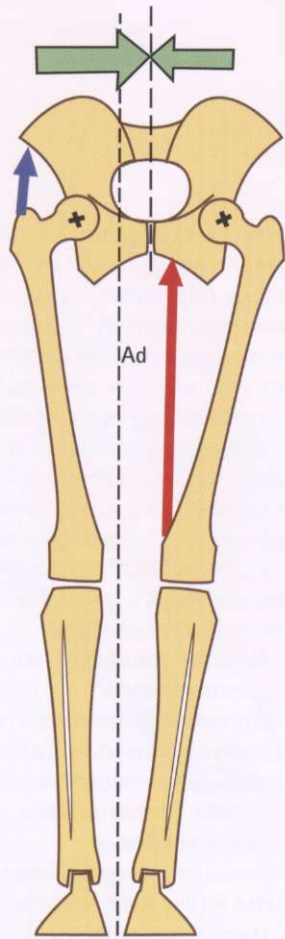


Рис. 138

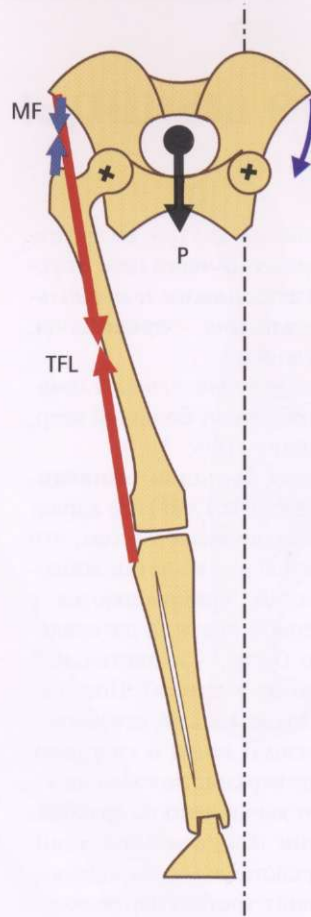


Рис. 139

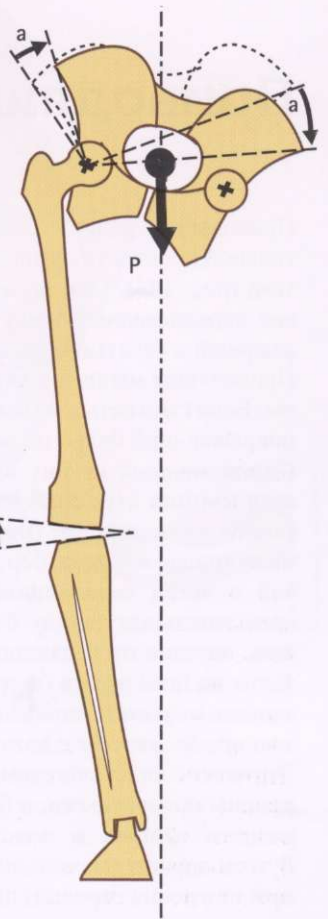


Рис. 140

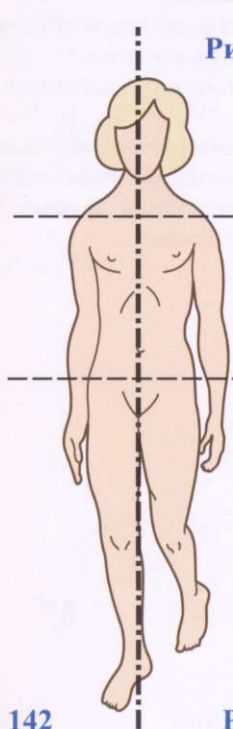


Рис. 142

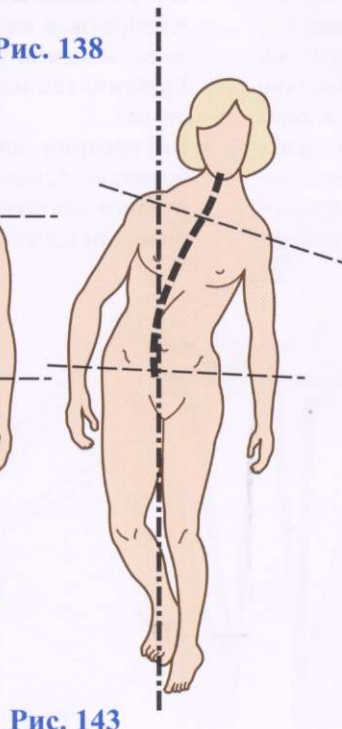


Рис. 143

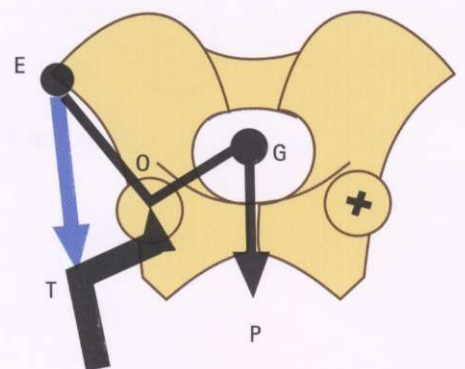


Рис. 141

# Приводящие мышцы

Приводящие мышцы бедра лежат кнутри от сагиттальной плоскости, которая проходит через центр сустава (рис. 144). Они располагаются *ниже и медиальнее* переднезадней оси *уу'* отведения — приведения, лежащей в сагиттальной плоскости.

Приводящие мышцы особенно *многочисленны и мощны*. Если смотреть сзади, они образуют большой веер, покрывающий бедро по всей длине (рис. 145).

*Самой мощной* из них является **большая приводящая мышца 1** (ее сила эквивалентна **13 кг**). Ее характерное расположение (рис. 146) объясняется тем, что медиальные волокна, берущие начало на ветви лобковой и ветви седалищной костей, прикрепляются к проксимальному концу бедренной кости, а латеральные, идущие от седалищного бугра, - к дистальной части на *linea aspera* (**шероховатая линия**). Поэтому *верхние и промежуточные волокна 1 и 2 образуют нечто вроде желоба с вогнутостью кзади и кнаружи*. Это можно видеть на схеме, где верхние волокна изображены прозрачными, а бедро вычленено из тазобедренного сустава в положении наружной ротации. В этом желобе (на вставке представлен срез, сделанный на уровне стрелки) проходит третья группа волокон (нижние волокна), которые образуют мышечное брюшко, часто называемое **третьим аддуктором 3**. Благодаря такому расположению мышечных волокон их относительное *пассивное удлинение при отведении уменьшается* настолько, что позволяет *большую степень отведения* при сохранении эффективной функции этой мышцы, как проиллюстрировано на схеме 147, где сторона А показывает истинное расположение волокон, а сторона В - истинное и «упрощен-

ное» расположение волокон (пунктир). Самые внутренние волокна имеют самое низкое прикрепление, а самые наружные — самое высокое (прямо противоположно реальному расположению). Эти два типа расположения волокон (истинное и упрощенное) показаны в положении приведения **Ad** и отведения **Ab**. Отчетливо видна разная степень удлинения волокон при отведении-приведении и представлена она разницей проведенных окружностей; и обозначает волокна, прикрепляющиеся к лобковой ветви, *v* — к седалищной ветви. Удлинение волокон представлено *z*, это касается волокон, направляющихся к вертелу. Возвращаясь к рис. 145, следует отметить следующие мышцы приведения:

- **Тонкая мышца 4** образует внутренний край мышечного веера.
- **Полуперепончатая 5, полусухожильная 6** мышцы и **двуглавая мышца бедра 7**, хотя их основная функция заключается в разгибании бедра и сгибании голени, также играют *важную роль в осуществлении приведения*.
- Большая масса волокон **большой ягодичной мышцы 8** (все волокна, проходящие ниже оси *уу'*) участвует в приведении.
- **Квадратная мышца бедра 9** осуществляет приведение и наружную ротацию.
- **Гребенчатая мышца 10** действует так же, как квадратная.
- **Внутренняя запирательная мышца И**, которой помогают близнецовые мышцы (не показаны) и **наружная запирательная мышца 12** являются вторичными аддукторами.



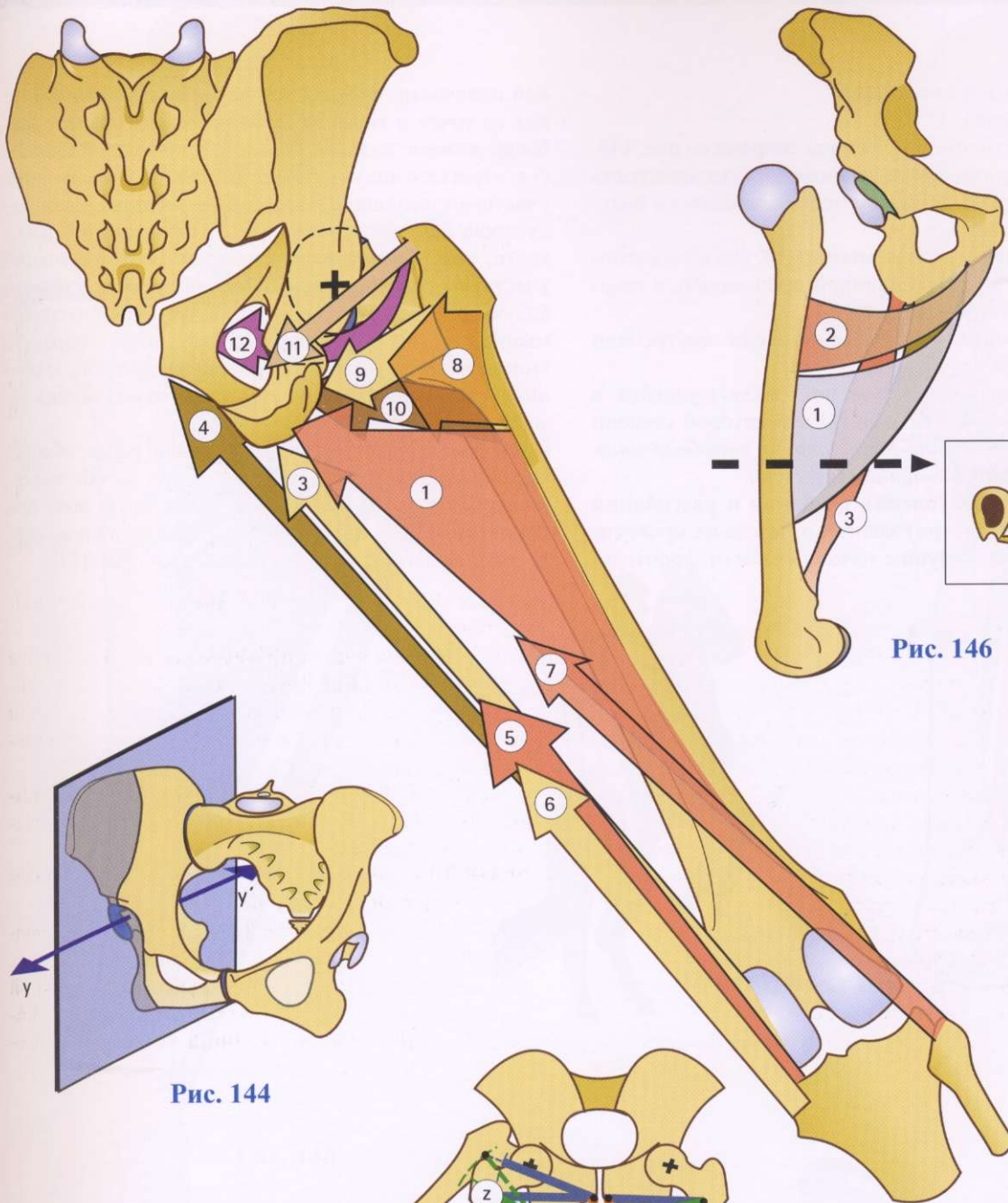


Рис. 144

Рис. 146

Рис. 145

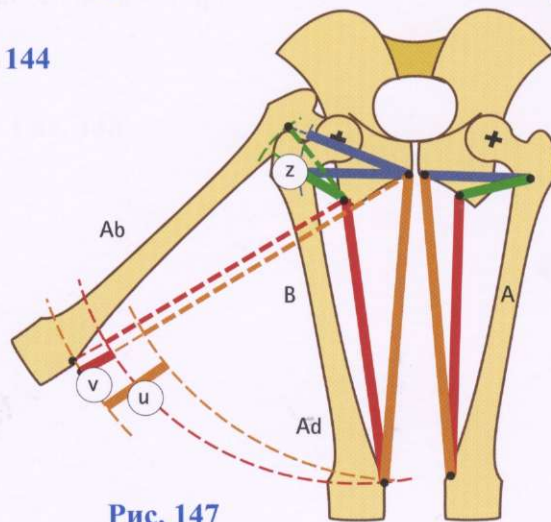


Рис. 147

## Приводящие мышцы (продолжение)

Приводящие мышцы показаны спереди на рис. 148:

- **длинная приводящая мышца 13**, чья мощность (эквивалентна 5 кг) вдвое меньше мощности большой приводящей,
- **короткая приводящая мышца 14**, два пучка которой снизу прикрыты длинной приводящей, а сверху - гребенчатой мышцей 10,
- **тонкая мышца 4**, которая образует внутренний край футляра аддукторов.

Помимо их основной функции, заключающейся в приведении бедра, эти мышцы в некоторой степени участвуют в сгибании-разгибании в тазобедренном суставе и осевой ротации конечности.

**Их роль в осуществлении сгибания и разгибания** (рис. 149, вид изнутри) зависит от места их прикрепления. Мышцы, берущие начало *кзади* от фронтальной

плоскости, проходящей через центр сустава (линия из точек и тире), обеспечивают разгибание, особенно нижние волокна большой приводящей мышцы (т.е. «третьего аддуктора») и, конечно, в этой функции участвуют седалищно-бедренные мышцы. Если аддукторы начинаются *кпереди* от фронтальной плоскости, они обеспечивают сгибание. В этой функции участвуют гребенчатая мышца, короткий и длинный аддукторы, верхние волокна большой приводящей мышцы и тонкая мышца. Однако следует обратить внимание на то, что их роль в осуществлении сгибания и разгибания зависит от исходного положения тазобедренного сустава.

Приводящие мышцы, как было сказано ранее, обеспечивают стабилизацию таза при опоре на обе конечности, тем самым они играют важнейшую роль при принятии **определенных поз** и при движениях в спорте (езда на лыжах, рис. 150, езда верхом, рис. 151).

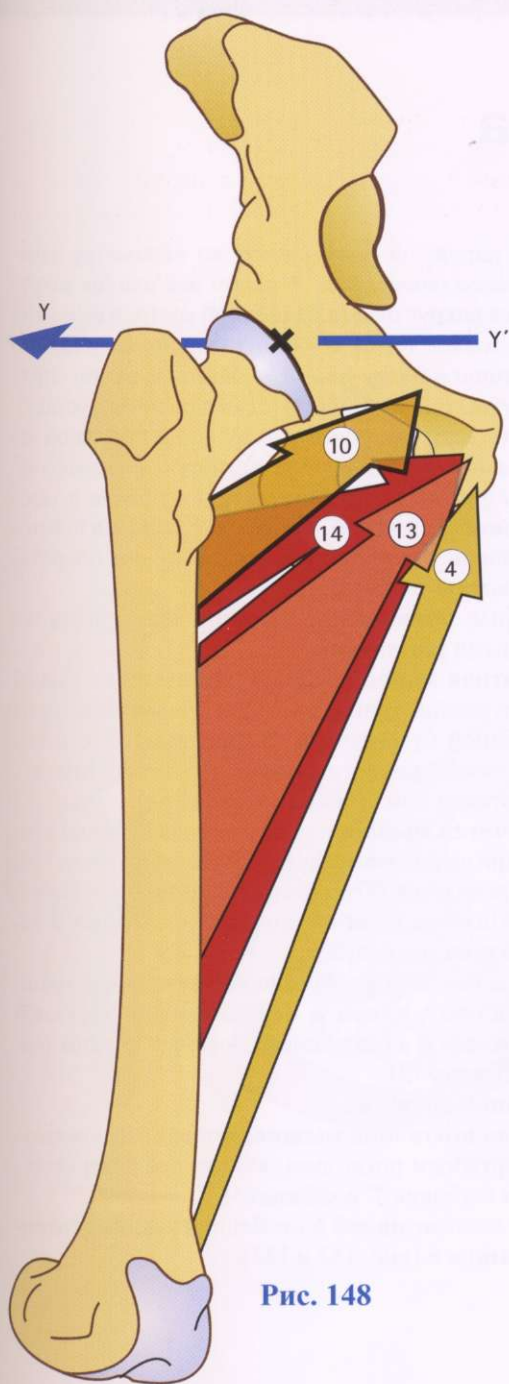


Рис. 148

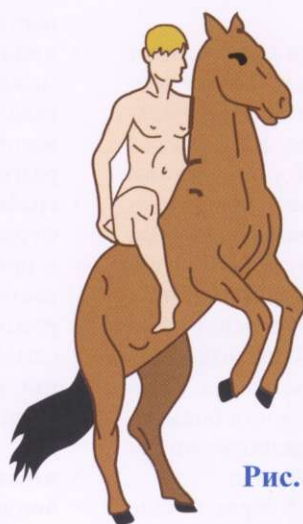


Рис. 151

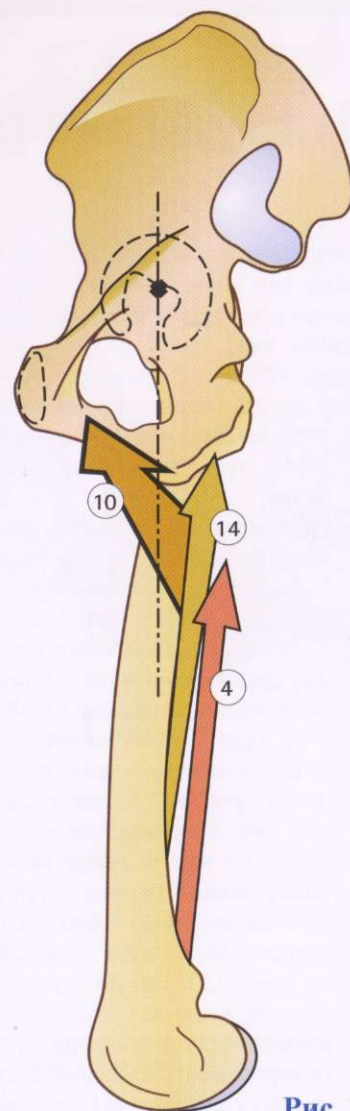


Рис. 149

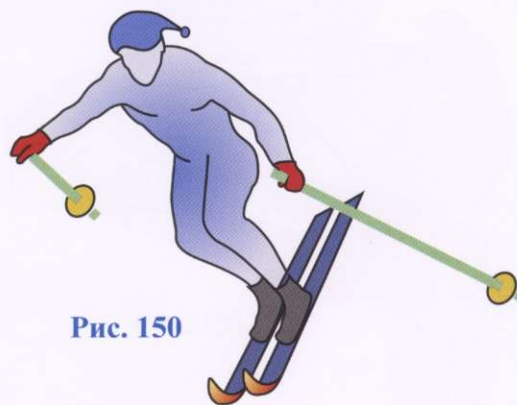


Рис. 150

# Наружные ротаторы бедра

Это многочисленные и мощные мышцы. По своему ходу *они пересекают вертикальную ось тазобедренного сустава сзади*, как показано на **горизонтальном срезе таза**, сделанном чуть выше центра сустава (рис. 152, вид сверху). На этом рисунке представлены все наружные ротаторы, к которым относятся:

- **тазо-вертельные мышцы**, основной функцией которых является осуществление наружной ротации бедра;
- **грушевидная мышца 1** прикрепляется к верхнему краю большого вертела, идет медиально и кзади и выходит через большое седалищное отверстие (рис. 153, вид сзади и сверху), чтобы прикрепиться к передней поверхности крестца;
- **внутренняя запирательная мышца** сначала идет параллельно 2 грушевидной мышце, но вскоре огибает задний край подвздошной кости ниже седалищной ости под прямым углом (рис. 153). Вторая часть пути этой мышцы (2', рис. 152 - внутритазовая: она направляется к месту своего прикрепления - по внутреннему периметру *запирательного отверстия*. В первой части своего пути мышцу сопровождают две маленьких **близнецовых мышц**, которые обрамляют ее сверху и снизу и берут начало (рис. 153, см. две красные точки) вблизи *седалищной ости* и у *седалищной бугристости*. Прикрепляются они к внутренней поверхности большого вертела с помощью общего с внутренним запирателем сухожилия. Их действия идентичны;
- **наружная запирательная мышца 3** берет начало на дне пальцевой ямки, на *внутренней поверхности большого вертела*. Ее сухожилие огибает сзади шейку бедра, затем нижнюю поверхность тазобедренного сустава и направляется к месту прикрепления на наружной поверхности по периметру *запирательного отверстия*. В целом эта мышца закручивается вокруг шейки бедренной кости, и ее можно видеть только тогда, когда таз сильно наклонен по отношению к бедру (рис. 154, вид таза сзади, снизу и снаружи при сгибании в тазобедренном суставе). Это объясняет две основные функции наружной запирательной мышцы. Она является *преимущественно наружным ротатором* при сгибании в тазобедренном суставе (см. также след. стр.) и в некоторой степени - сгибателем, поскольку она оборачивается вокруг шейки бедра;
- некоторые **приводящие мышцы** также являются наружными ротаторами;
- **квадратная мышца бедра 4** начинается на задней межвертельной линии (рис. 153) и заканчивается на седалищной бугристости. В зависимости от положения тазобедренного сустава она может служить разгибателем или сгибателем (рис. 161);
- **гребенчатая мышца 6** идет от средней линии трифуркации шероховатой линии (*linea aspera*) (рис. 154) и прикрепляется к горизонтальной ветви лобковой кости. Она участвует в приведении, сгибании и наружной ротации бедра.
- самые задние волокна **большой приводящей мышцы** участвуют также в осуществлении наружной ротации, как и седалищно-бедренные мышцы (*см. рис. 155, стр. 71*);
- **ягодичные мышцы**;
- **большая ягодичная мышца**, которая в целом является наружным ротатором, включая ее поверхностные 7 и глубокие 7' волокна;
- **задние волокна малой** и особенно **средняя ягодичная мышца 8** (рис. 152 и 153).

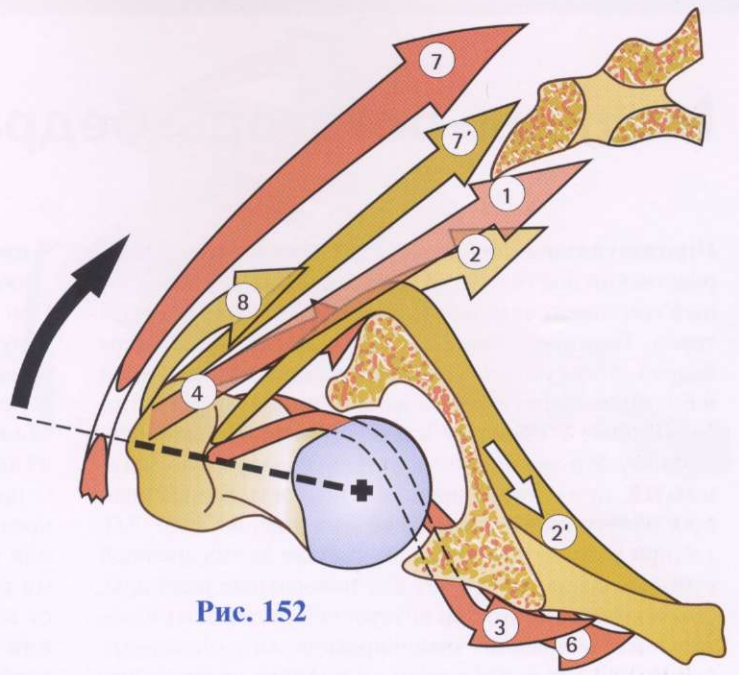


Рис. 152

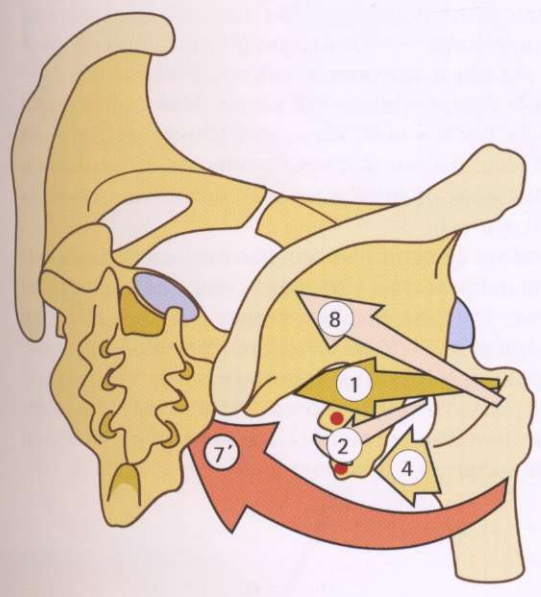


Рис. 153

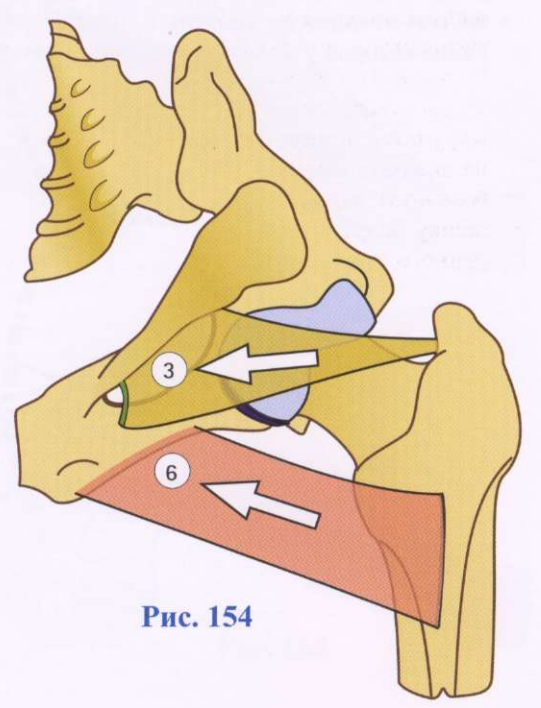


Рис. 154

# Мышцы-ротаторы бедра

**Горизонтальный срез** (рис. 155), проходящий непосредственно под головкой бедра, показывает ротационный компонент седалищно-бедренных мышц и аддукторов. Горизонтальные проекции двуглавой мышцы бедра 1, полусухожильной, полуперепончатой 2 мышц и большого аддуктора 3 и даже длинного и короткого аддукторов 4 проходят кзади от вертикальной оси. Поэтому эти мышцы осуществляют наружную ротацию **RE**, при которой нижняя конечность поворачивается вокруг своей продольной оси (рис. 49, стр. 31), т.е. при разогнутом коленном суставе тазобедренный сустав и стопа действуют как поворотные шарниры. Отметим также, что при внутренней ротации **RI** некоторые из приводящих мышц проходят *кпереди от вертикальной оси* и тем самым становятся *внутренними ротаторами*.

Внутренние ротаторы *менее многочисленны*, чем наружные, и их мощность в 3 раза меньше мощности наружных ротаторов (эквивалентна 54 кг по сравнению со 146 кг для наружных ротаторов). Эти мышцы проходят *спереди от вертикальной оси тазобедренного сустава*. **Горизонтальный срез** (рис. 156) показывает три внутренних ротатора бедра:

- **среднюю ягодичную мышцу 5**, только ее передние волокна участвуют в наружной ротации;
- **малую ягодичную мышцу 6**, практически все волокна которой участвуют в наружной ротации;

- **напрягатель широкой фасции 7**, который направляется к передневерхней ости подвздошной кости E. При средней внутренней ротации в  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  (рис. 157) наружная запирающая 8 и гребенчатая мышцы оказываются ниже центра сустава, таким образом, они перестают выполнять функцию наружных ротаторов. **Малая и средняя ягодичные мышцы 6** в этом положении все еще остаются внутренними ротаторами. С другой стороны, при полной внутренней ротации, превышающей  $40^{\circ}$  (рис. 158), **наружная запирающая 8 и гребенчатая** мышцы становятся внутренними ротаторами, поскольку они теперь лежат кпереди от вертикальной оси, а **напрягатель широкой фасции 7, малая и средняя ягодичные мышцы 5** превращаются в наружные ротаторы. Это справедливо лишь для тех случаев, когда внутренняя ротация достигает максимума и служит примером *изменения действия мышц* в зависимости от положения тазобедренного сустава.

Такая смена функции мышц является следствием изменения направления мышечных волокон, как показано на рис. 159 (вид спереди, сверху и снаружи). Когда бедру придано положение насильственной внутренней ротации, **наружная запирающая 8 и гребенчатая 9** мышцы оказываются кпереди от вертикальной оси (**двойные стрелки**), а **малая и средняя ягодичные мышцы 5** проходят косо кверху и кзади.

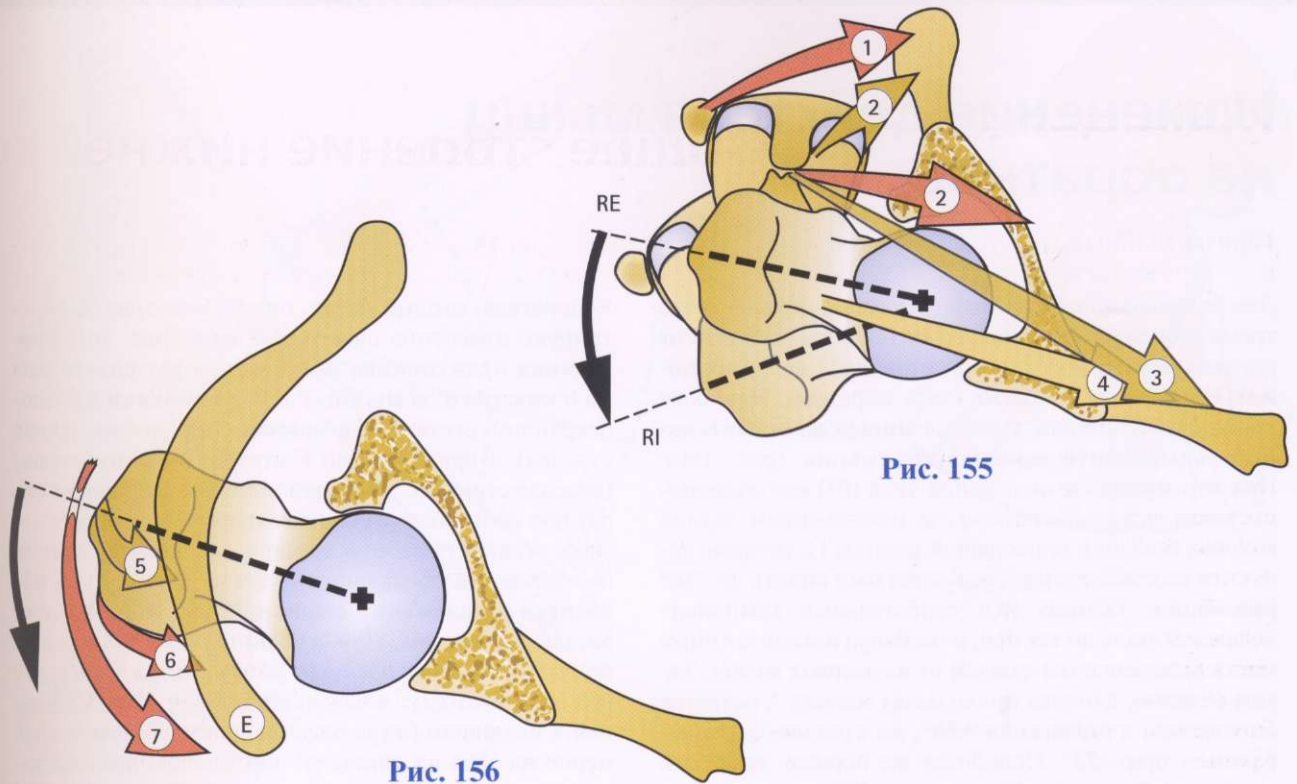


Рис. 155

Рис. 156

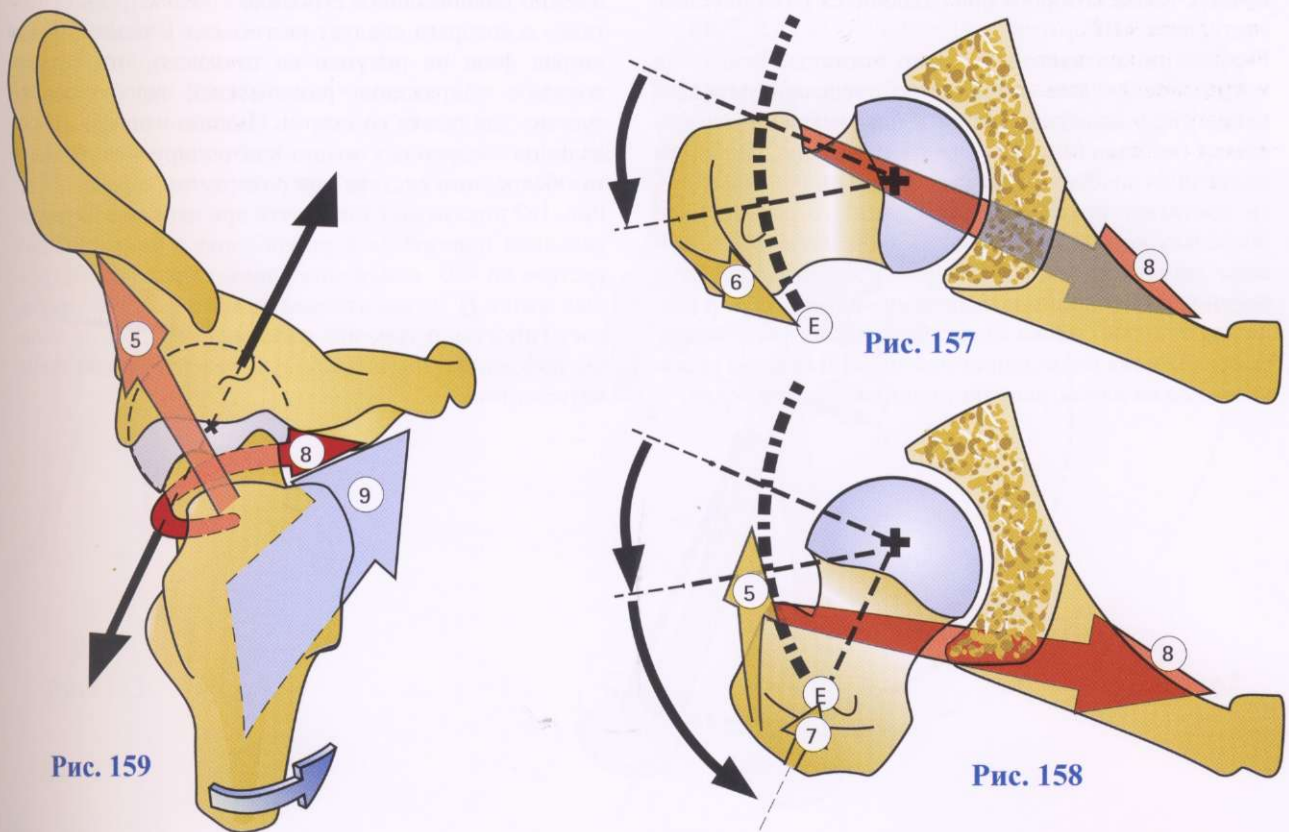


Рис. 157

Рис. 159

Рис. 158

## Изменение действия мышц на обратное

Двигательная функция мышц сустава, обладающего тремя степенями свободы, разнится в зависимости от его положения, а именно их вторичная функция может измениться или даже стать обратной. Наиболее типичным примером является **инверсия сгибательного компонента приводящих мышц** (рис. 160). При вертикальном положении тела ( $0^\circ$ ) *все аддукторы являются сгибателями*, за исключением задних волокон большой приводящей мышцы G, которые являются разгибателями и остаются ими вплоть до  $-20^\circ$  разгибания. Однако этот сгибательный компонент действует лишь до тех пор, пока бедро находится ниже места прикрепления каждой из названных мышц. Таким образом, длинная приводящая мышца A остается *сгибателем* в положении  $+50^\circ$ , но становится *разгибателем* при  $+70^\circ$ . Подобным же образом короткий аддуктор остается сгибателем до  $+50^\circ$ , после чего он превращается в **разгибатель**. Для тонкой мышцы предел, после которого она становится разгибателем, составляет  $+40^\circ$ .

Рисунок показывает, что только истинные сгибатели могут обеспечивать сгибание до предела. При  $+120^\circ$  напрягатель широкой фасции T максимально укорачивается (на величину  $aa'$  или на половину длины его мышечных волокон), а поясничная мышца P тоже почти достигает предела своего полезного сокращения, поскольку *ее сухожилие теперь максимально отдалится от подвздошно-гребенчатого возвышения*. Этот рисунок позволяет понять, почему малый вертел p расположен очень далеко кзади: благодаря этому экскурсия сухожилия подвздошно-поясничной мышцы *увеличивается* на длину, равную толщине диафиза бедра.

Квадратная мышца бедра также отчетливо демонстрирует изменение своего действия (рис. 161: **прозрачная подвздошная кость позволяет видеть бедро и квадратную мышцу**): при **разгибании** E в тазобедренном суставе она является сгибателем (синяя стрелка), а при сгибании F становится разгибателем (красная стрелка). Точка изменения ее функции на обратную соответствует вертикальному положению.

Эффективность работы мышц в основном зависит от положения тазобедренного сустава. Если он **уже находится в положении сгибания** (рис. 162), то разгибатели напряжены. При сгибании F на  $120^\circ$  большая ягодичная мышца *пассивно удлиняется на длину ff*, что для некоторых волокон составляет 100% удлинения. Седалищно-бедренные мышцы *удлиняются* примерно на 50% их длины  $jj'$  при «выпрямленной» конечности с разогнутым коленным суставом. Это объясняет **стартовое положение бегунов** (рис. 163), а именно максимальное сгибание в тазобедренном суставе, за которым следует разгибание в коленном (эта вторая фаза на рисунке не показана), что создает должное напряжение разгибателей тазобедренного сустава для рывка со старта. Именно напряжение седалищно-бедренных мышц контролирует сгибание в тазобедренном суставе при разогнутом колене.

Рис. 162 показывает также, что при переходе из вертикального положения к разгибанию в тазобедренном суставе до  $-20^\circ$  изменение длины седалищно-бедренных мышц  $jj''$  относительно невелико. Это подтверждает гипотезу о том, что *седалищно-бедренные мышцы работают в оптимальном режиме, когда бедро полусогнуто*.



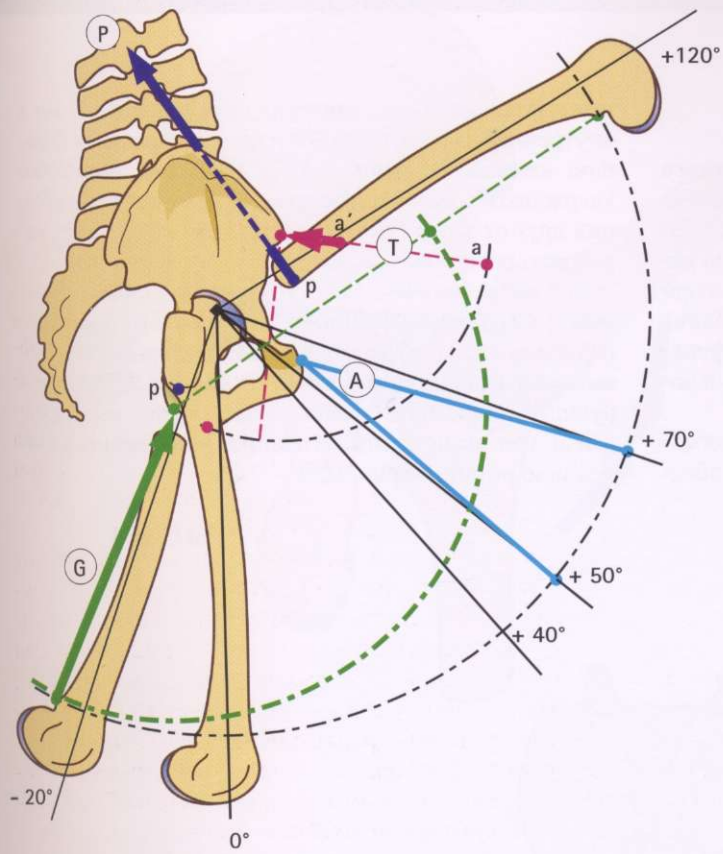


Рис. 160

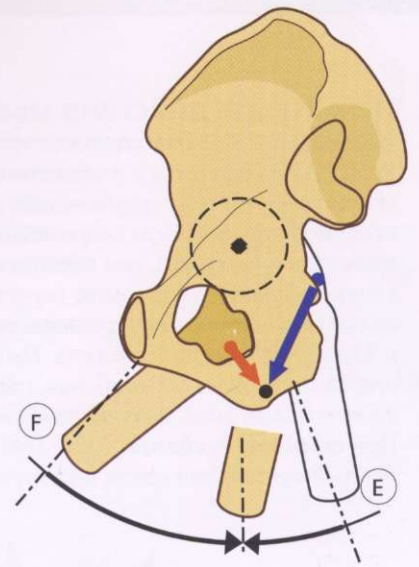


Рис. 161

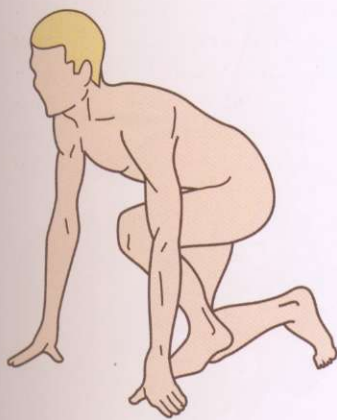


Рис. 163

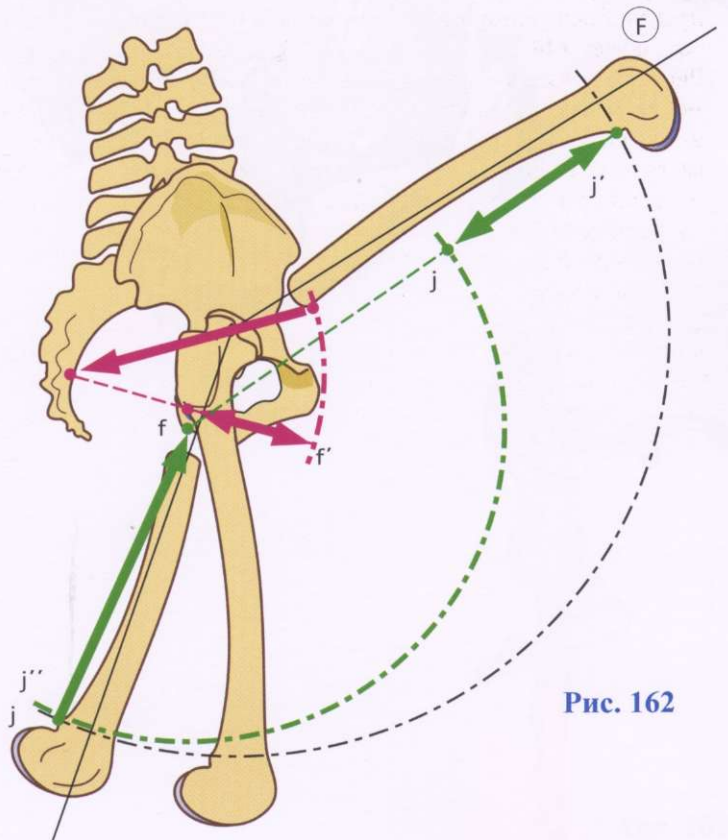


Рис. 162

### **Изменение действия мышц на обратное (продолжение)**

Если бедро находится в **положении преувеличенного сгибания** (рис. 164), грушевидная мышца также меняет свою функцию. Когда бедро «выпрямлено» (рис. 165: вид сзади и снаружи), она обеспечивает наружную ротацию, сгибание и отведение (**красная стрелка**), а при сильном сгибании - внутреннюю ротацию, разгибание и отведение (**синяя стрелка**). *Точка изменения функции соответствует 60° сгибания, где грушевидная мышца выполняет лишь роль абдуктора.*

При **сильном сгибании** (рис. 166; согнутый тазобедренный сустав, вид сзади и снаружи) отведение обес-

печивается не только грушевидной мышцей 1, но и внутренней запирательной 2 и всеми волокнами большой ягодичной мышцы 3. Эти мышцы позволяют удерживать коленные суставы на некотором расстоянии друг от друга (**синяя стрелка**) и осуществить наружную ротацию (**зеленая стрелка**), когда *бедро согнуто под углом 90°*. Малая ягодичная мышца 4 отчетливо выполняет функцию внутреннего ротатора (**красная стрелка**) и становится аддуктором (рис. 167) вместе с напрягателем широкой фасции 9. Результирующее движение, реализуемое этими мышцами, имеет три компонента: сгибание, приведение, внутреннюю ротацию (рис. 168).

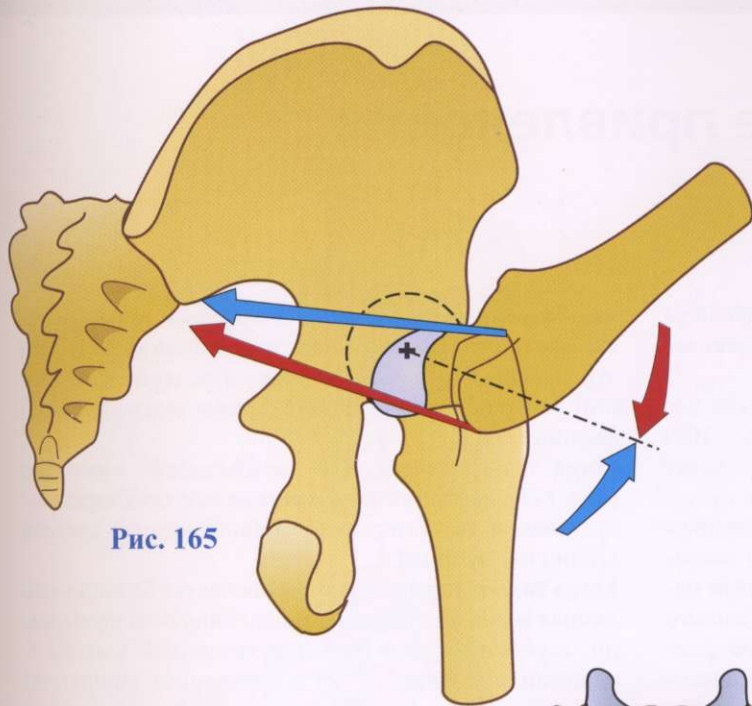


Рис. 165



Рис. 164

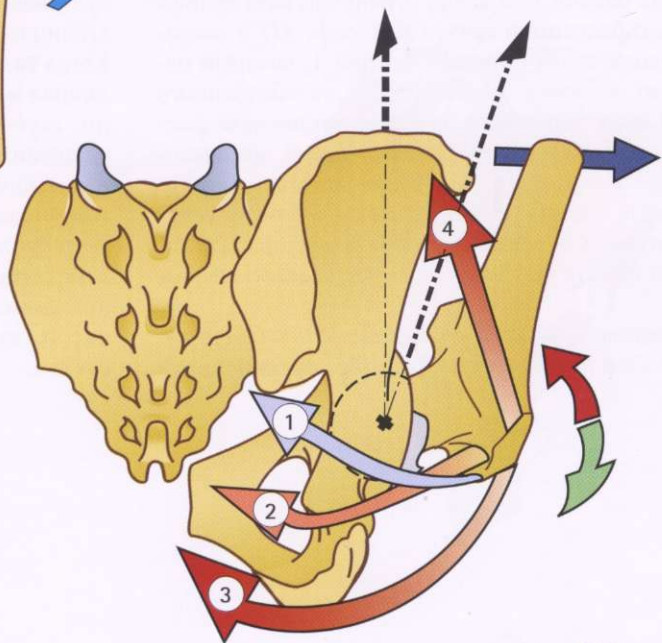


Рис. 166

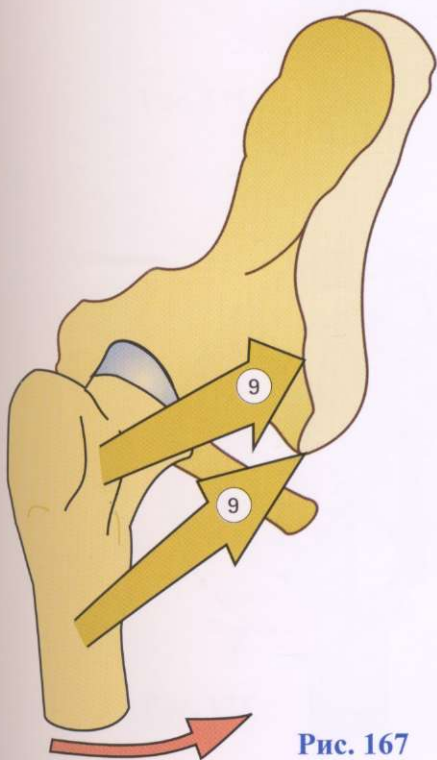


Рис. 167

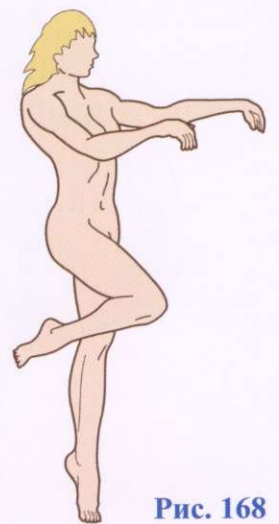


Рис. 168

# Последовательное привлечение абдукторов

В зависимости от степени сгибания в тазобедренном суставе, таз при опоре на одну конечность удерживается различными отводящими мышцами.

При полном **разгибании** в тазобедренном суставе, т.е. в положении стоя (изначальная позиция) (рис. 169) линия, идущая через центр тяжести тела, проходит кзади от поперечной оси обоих тазобедренных суставов, и тогда наклон таза кзади ограничен натяжением подвздошно-бедренной связки (см. стр. 31) и сокращением напрягателя широкой фасции 1, который одновременно является и сгибателем тазобедренного сустава. Таким образом, *напрягатель широкой фасции не дает тазу ни опрокинуться назад, ни наклониться в сторону*. Как приводящая мышца, напрягатель широкой фасции действует *синергично* с поверхностным пучком большой ягодичной мышцы 2, с которым они вместе формируют *дельтовидную мышцу бедра*.

Если таз *слегка наклонен кзади* (рис. 170), центр тяжести все еще лежит кзади от линии, соединяющей

тазобедренные суставы, но в действие вступает малая ягодичная мышца. Обратите внимание на то, что эта мышца обеспечивает также отведение в сочетании со сгибанием подобно напрягателю широкой фасции.

Когда таз *уравновешен в переднезадней плоскости* (рис. 171), центр тяжести лежит на оси тазобедренных суставов, и таз латерально стабилизируется средней ягодичной мышцей 4.

Когда таз *наклонен кпереди*, включается большая ягодичная мышца, к которой присоединяются поочередно: глубокий пучок большой ягодичной мышцы 5, грушевидная 6 (рис. 172) и внутренняя запирательная мышца (рис. 173). Во все время этого процесса, в том числе и при максимальном сгибании тазобедренного сустава (рис. 174), большая ягодичная мышца 2 действует как *антагонист-синергист* с мышцей, напрягающей широкую фасцию 1, осуществляя отведение, а также контролируя сгибание в тазобедренном суставе.

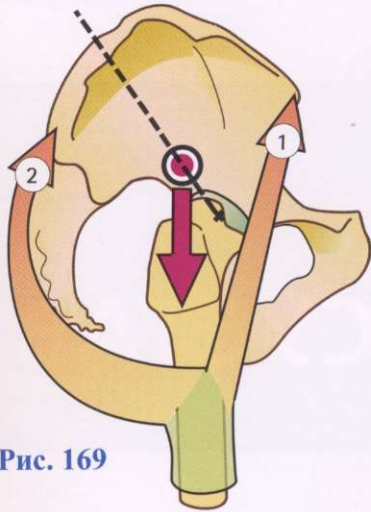


Рис. 169

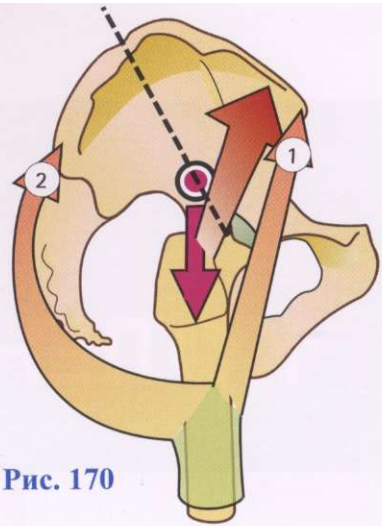


Рис. 170

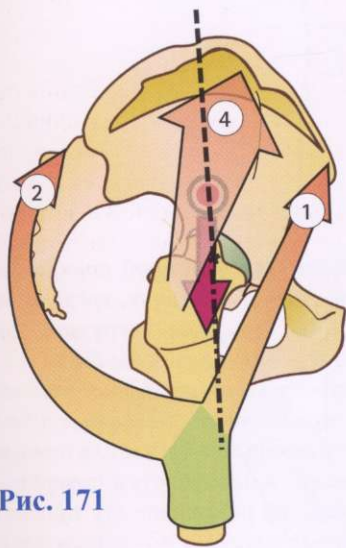


Рис. 171

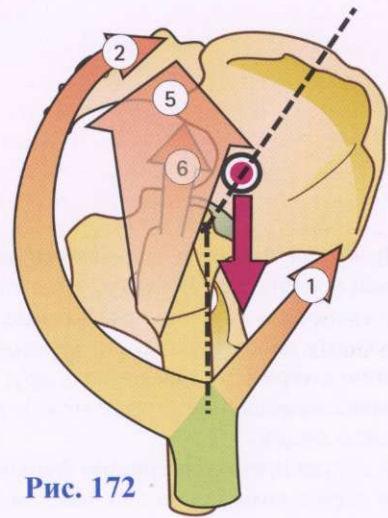


Рис. 172

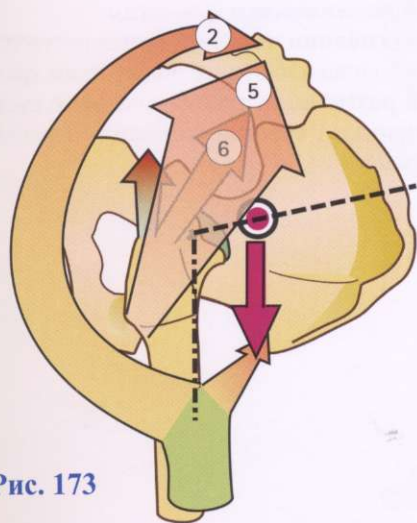


Рис. 173

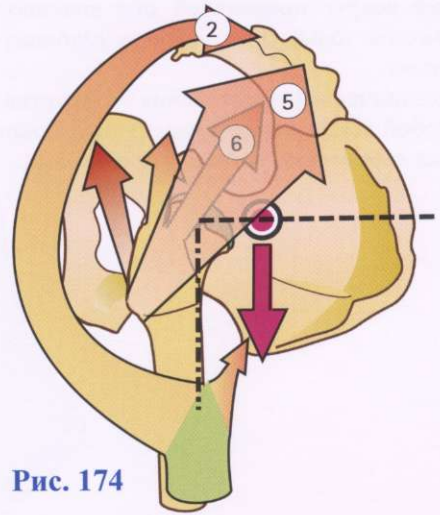


Рис. 174

## Глава 2

# КОЛЕННЫЙ СУСТАВ

Коленный сустав является **промежуточным суставом** нижней конечности. **По сути**, это сустав с *одной степенью свободы* — сгибание-разгибание, - что позволяет нижнему концу конечности *перемещаться* по направлению к верхнему или от него, другими словами, позволяет *менять расстояние между туловищем и плоскостью опоры*.

Коленный сустав преимущественно функционирует в состоянии *осевой компрессии* под действием силы тяжести.

Но, несмотря на сказанное выше, он обладает **дополнительной**, т.е. *второй, степенью свободы* - это ротация вокруг продольной оси конечности, которая возможна только при условии *сгибания в коленном суставе*.

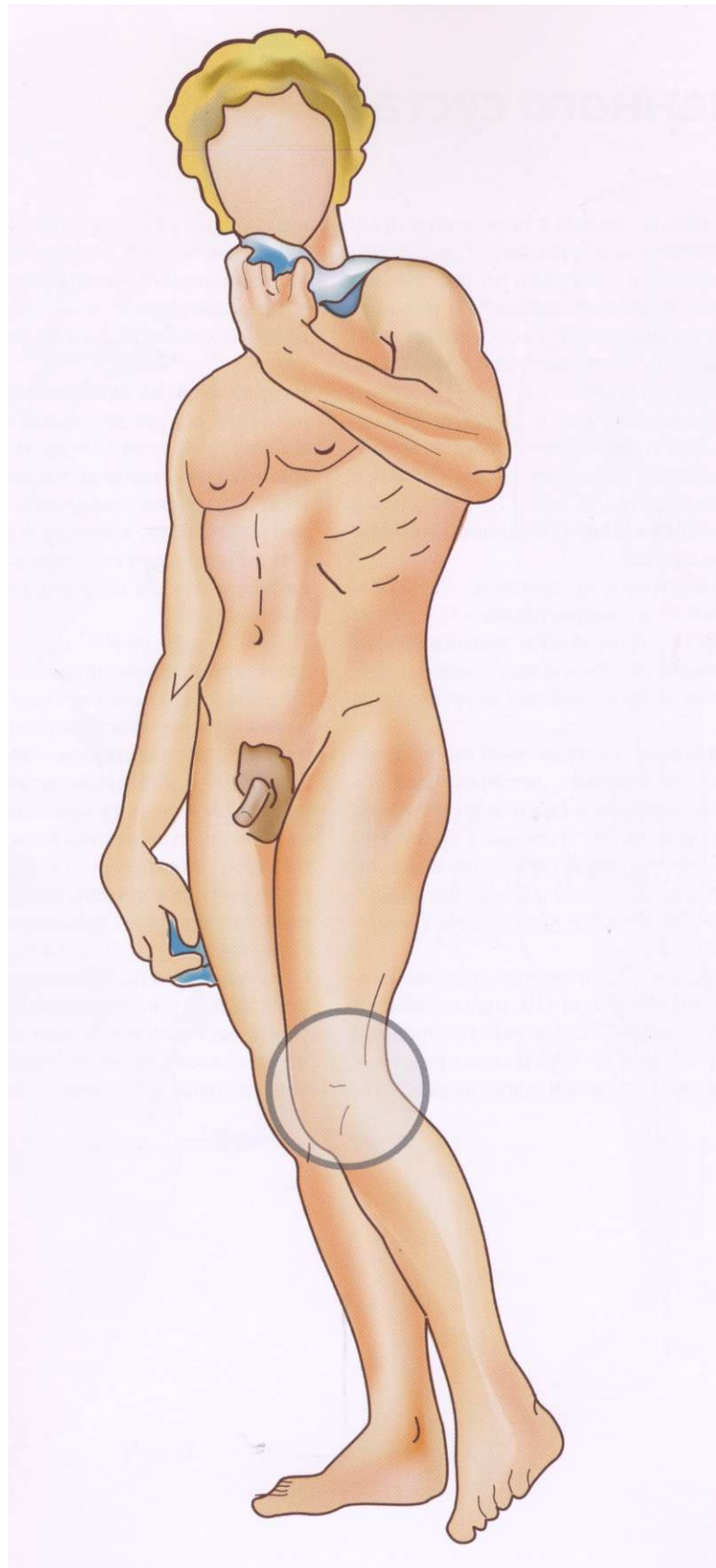
С механической точки зрения этот сустав представляет собой некий *компромисс*, примиряющий *два следующих взаимоисключающих требования*:

- обеспечение *максимальной стабильности в положении полного разгибания*, когда коленный сустав подвергается большим нагрузкам под действием веса тела и длины плечей рычагов;
- обеспечение *максимальной мобильности по достижении определенной степени сгибания*. Эта мобильность важна для бега и для *оптимальной адаптации стопы* к неровностям поверхности.

Коленный сустав разрешает эту проблему благодаря *гениальному механизму*, но относительно *слабое замыкание его поверхностей*, существенное для обеспечения большой подвижности, делает его подверженным *растяжениям и вывихам*.

При **сгибании** коленный сустав нестабилен, и его связки и мениски наиболее подвержены травматизации.

При **разгибании** травма коленного сустава чаще всего приводит к внутрисуставным переломам и разрыву связок.



# Оси коленного сустава

**Первая степень свободы** связана с *поперечной осью*  $XX'$  (рис. 1, вид спереди и изнутри; рис. 2, вид согнутого колена спереди и снаружи), по отношению к которой происходят движения сгибания и разгибания в сагиттальной плоскости. Эта ось, лежащая во фронтальной плоскости, проходит через мышечки бедренных костей горизонтально.

Поскольку шейка бедренной кости образует угол с диафизом (рис. 3, общий вид скелета нижних конечностей), ось последнего не совпадает с осью голени, а составляет с ней тупой угол в  $170-175^\circ$ , открытый кнаружи. Это **физиологическое смещение кнаружи (вальгус)** коленного сустава.

С другой стороны, центры трех суставов - тазобедренного **Н**, коленного **О** и голеностопного **С** - лежат на прямой линии НОС, являющейся **механической осью нижней конечности**. На уровне голени НОС совпадает с осью голени, но составляет острый угол в  $6^\circ$  с осью бедра.

Поскольку тазобедренные суставы дальше отстоят друг от друга, чем голеностопные, **механическая ось нижней конечности идет косо книзу и кнутри**, образуя с вертикалью угол в  $3^\circ$ . Этот угол будет тем больше, чем шире таз, что характерно для женщин. Этим объясняется *более выраженный физиологический вальгус коленного сустава у женщин по сравнению с мужчинами*.

Ось сгибания-разгибания  $XX'$  проходит *горизонтально* и не совпадает с биссектрисой  $Ov$ , пересекающей вальгусный угол. Угол между  $XX'$  и осью бедренной кости составляет  $81^\circ$ , а между  $XX'$  и осью голени -  $93^\circ$ . Поэтому при полном сгибании в коленном суста-

ве ось голени оказывается не непосредственно позади оси бедра, а *сзади и слегка кнутри* от нее, так что пятка перемещается медиально по направлению к плоскости симметрии тела. Полное сгибание приводит *пятку в контакт с ягодицей на уровне седалищного бугра*.

**Вторая степень свободы** коленного сустава связана с ротацией вокруг продольной оси голени  $УУ'$  (рис. 1 и 2) при согнутом коленном суставе. Его строение **исключает ротацию в положении полного разгибания**; ось голени совпадает с механической осью нижней конечности, и *ротация проходит не в коленном, а в тазобедренном суставе, который в этой ситуации является как бы комплементарным по отношению к коленному*.

На рис.1 и 2 ось  $ZZ'$  идет спереди назад и перпендикулярно к двум другим осям. Эта ось не является третьей степенью свободы, но благодаря наличию некоторой механической «игры» в суставе, обеспеченной расслаблением латеральных связок, по отношению к ней происходят *боковые движения при согнутом колене* (в пределах 1-2 см, если измерять на уровне голеностопного сустава). В положении полного разгибания эти движения исчезают в связи с натяжением латеральных связок, и их сохранение, как правило, указывает на наличие патологии связок.

Следует помнить, что поперечные смещения в норме происходят при малейшем сгибании колена. Чтобы удостовериться в том, что они не выходят за пределы нормы, необходимо сравнить оба коленных сустава при условии, что второй сустав здоров.



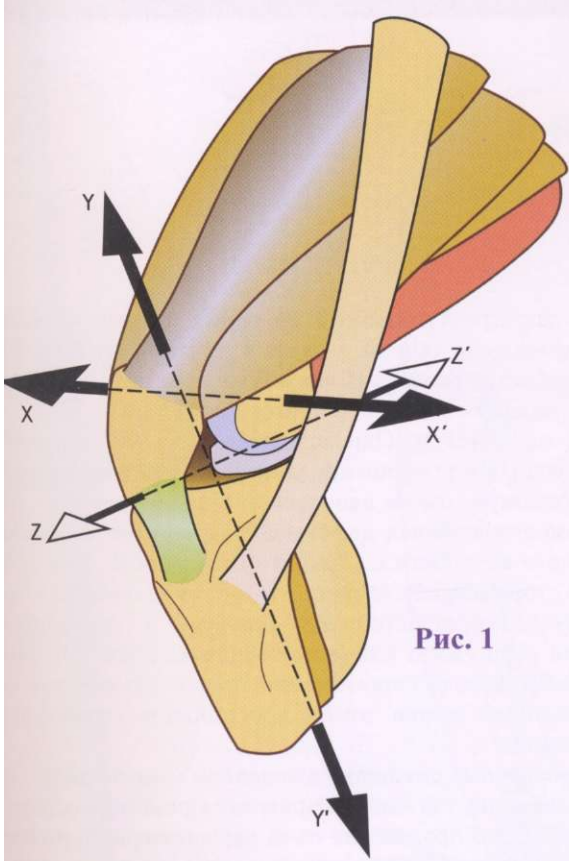


Рис. 1

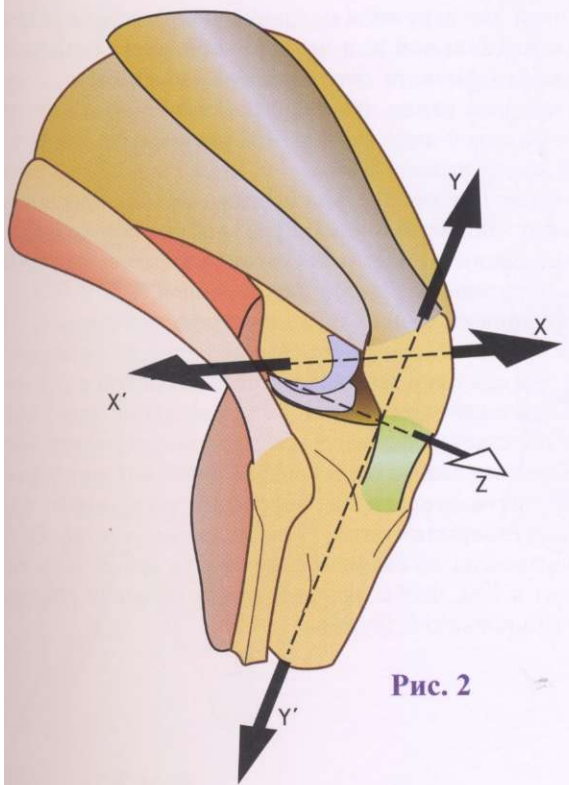


Рис. 2

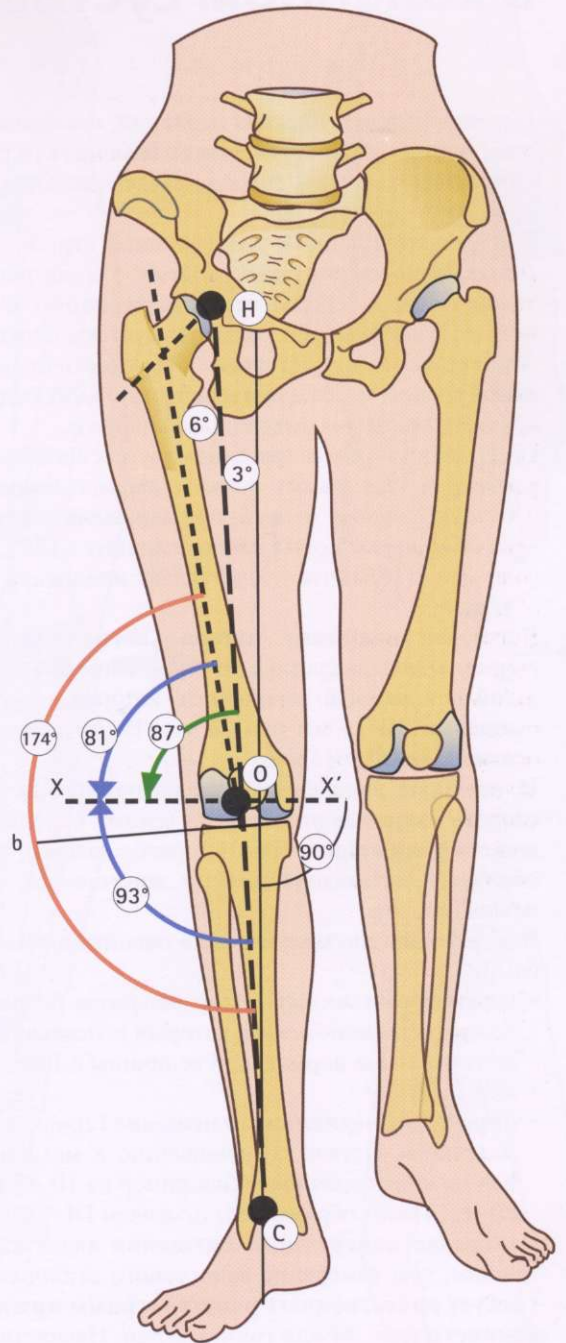


Рис. 3

# Латеральные смещения в коленном суставе

Помимо физиологических вариаций, связанных с полом, величина **вальгуса может изменяться патологически** (рис. 4, вид спереди скелета нижних конечностей).

Поворот вальгуса кнаружи (**красная стрелка**) называется **genu varum** (левое колено: **Var** на рис. 4). О таком человеке говорят, что он *кривоногий, с O-образной деформацией* (рис. 6). Центр сустава, проходящий через бороздку на суставной поверхности большеберцовой кости и через межмышцелковую ямку бедренной кости, оказывается смещенным кнаружи.

Genu varum можно определить двумя способами:

- измерив **угол между осями диафизов бедренной и большеберцовой костей**; при варусной деформации он **превышает** нормальную величину в  $170^\circ$ , доходя до  $180 - 185^\circ$ , что представляет изменение тупого угла;
- измерив **величину латерального смещения e** (рис. 5) центра сустава по отношению к механической оси нижней конечности, которая в норме составляет 10-15 мм или 20 мм. Таким образом, мы отмечаем  $DE = 15$  мм.

И, наоборот, изменение физиологического вальгуса в сторону закрытия угла кнутри (**синяя стрелка**) приводит к **genu valgum** (рис. 4, правое колено), т.е. к X-образной деформации нижних конечностей, *косолапости* (рис. 8).

Эту деформацию можно также оценить двумя способами:

- измерив **угол между осями диафизов бедренной и большеберцовой костей**, который в этом случае окажется меньше нормальной величины в  $170^\circ$ , например  $165^\circ$ ;
- **определив медиальное смещение i** (рис. 7) центра коленного сустава по отношению к механической оси нижней конечности, например на 10—15 мм или 20 мм. Таким образом, мы отмечаем  $DI = 15$  мм.

Измерение **поперечного смещения** является более точным, чем измерение вальгусного отклонения, но **требует качественных рентгенограмм нижней конечности** (рис. 4) или гониометрии. Несчастный па-

циент, представленный на схеме на рис. 4, имеет справа genu valgum, а слева - genu varum. Такое наблюдается редко, так как в большинстве случаев деформация симметрична, но не обязательно одинакова по тяжести. Однако встречаются очень редкие случаи, когда смещение центра суставов происходит в одном и том же направлении, как на рисунке. Эта комбинированная деформация причиняет больному много неудобств с утратой стабильности, особенно со стороны genu valgum. Это может произойти в том случае, когда остеотомия приводит к гиперкоррекции genu varum или genu valgum. В такой ситуации необходимо без промедления прооперировать второй коленный сустав, чтобы восстановить нормальный баланс.

Поперечные смещения в коленном суставе далеко не безобидны, так как они приводят к развитию остеоартроза. Это происходит из-за неравномерного распределения нагрузки между двумя половинами суставных поверхностей с преждевременным износом внутренней или наружной половины и появлением **артроза в медиальной или латеральной части бедренно-большеберцового сочленения** в зависимости от наличия genu varum или valgum. Лечение может потребовать какой-либо формы *остеотомии большеберцовой или бедренной кости*.

Именно для профилактики этого осложнения **столь много внимания уделяется сейчас поперечным смещениям в коленном суставе у маленьких детей**. Действительно, у детей двусторонняя вальгусная деформация коленного сустава встречается очень часто и исчезает по мере роста. Тем не менее такие пациенты нуждаются в диспансерном наблюдении с рентгенологическим контролем. Если к концу детского возраста остается значительная деформация, может потребоваться **эпифизиodes медиальной или латеральной части сустава** для коррекции genu valgum или varum соответственно. Эта операция должна быть произведена до окончания роста, так как ее цель состоит в том, чтобы задержать рост на одной стороне по отношению к другой.

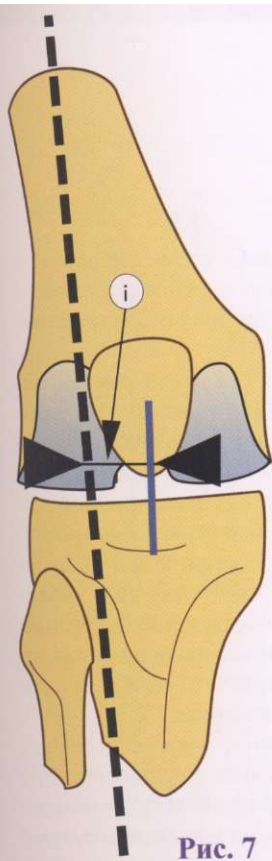


Рис. 7

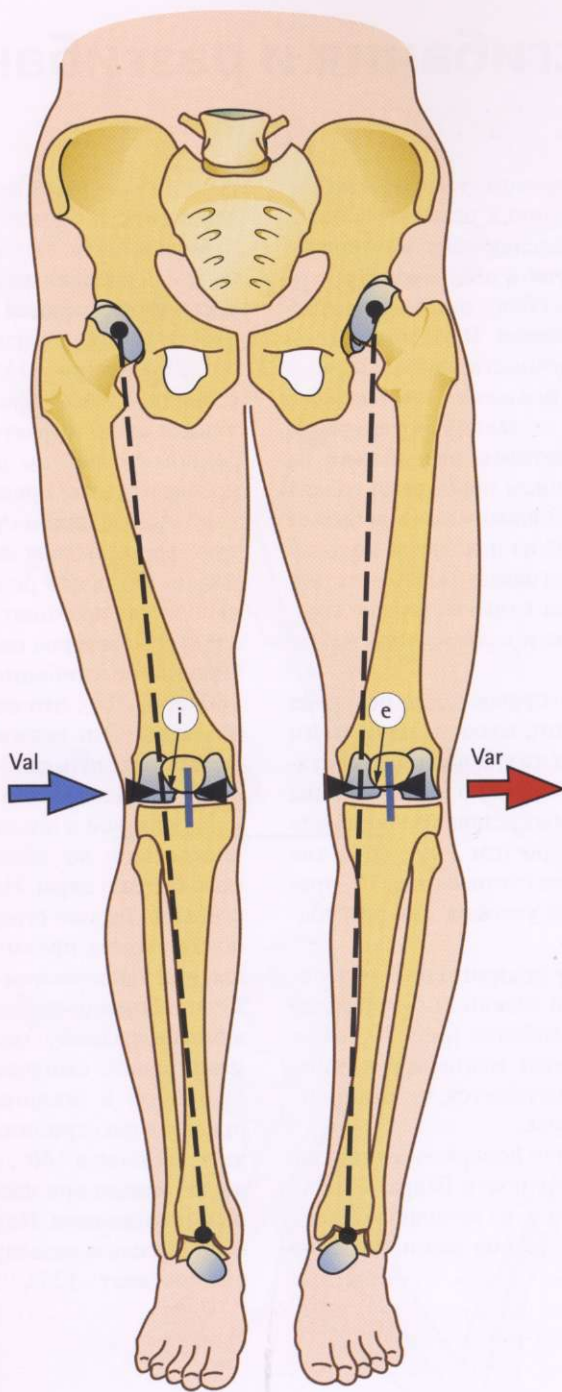


Рис. 4

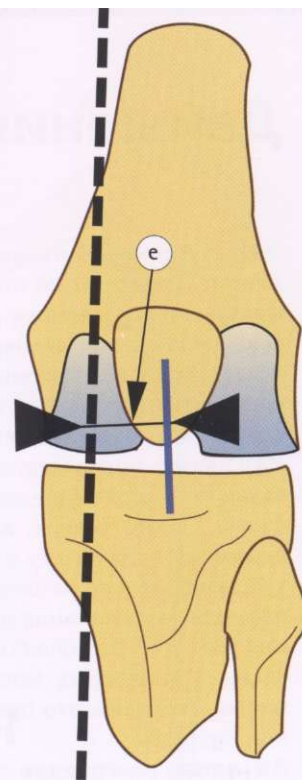


Рис. 5

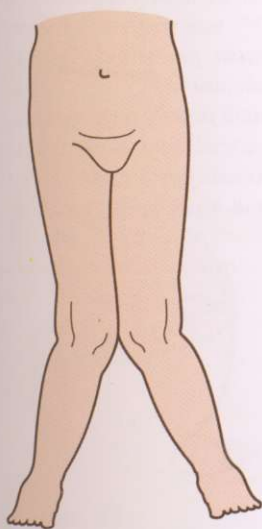


Рис. 8

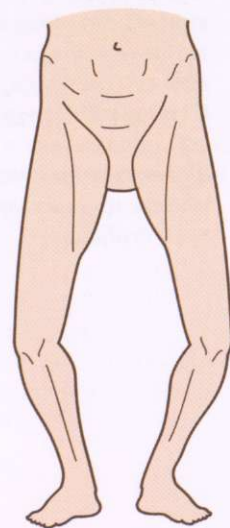


Рис. 6

## Движения сгибания и разгибания

Это основные движения в коленном суставе, и их амплитуду измеряют по отношению к исходному положению, определяемому по следующим критериям: ось голени лежит на одной линии с осью бедра (рис. 9, левая нога), т.е., если смотреть сбоку, ось бедра непосредственно продолжает ось голени. В этом исходном положении длина нижней конечности наибольшая.

**Разгибание** определяется как движение, отдаляющее заднюю поверхность голени от задней поверхности бедра. Строго говоря, **абсолютного разгибания** не существует, поскольку в исходном положении голень уже максимально разогнута. Однако можно добиться пассивного разгибания в 5-10° из исходного положения (рис. И), что ошибочно называют «гиперэкстензией». У некоторых людей эта гиперэкстензия чрезмерно выражена, что приводит к *искривлению коленного сустава*.

**Активное разгибание** редко превосходит исходное положение, а если и превосходит, то очень не намного (рис. 9), причем это зависит от тазобедренного сустава. По сути, эффективность функции прямой мышцы бедра как разгибателя коленного сустава увеличивается с экстензией в тазобедренном (см. стр. 164), так что разгибание в тазобедренном суставе (рис. 10, правая конечность, сзади) создает условия для разгибания в коленном.

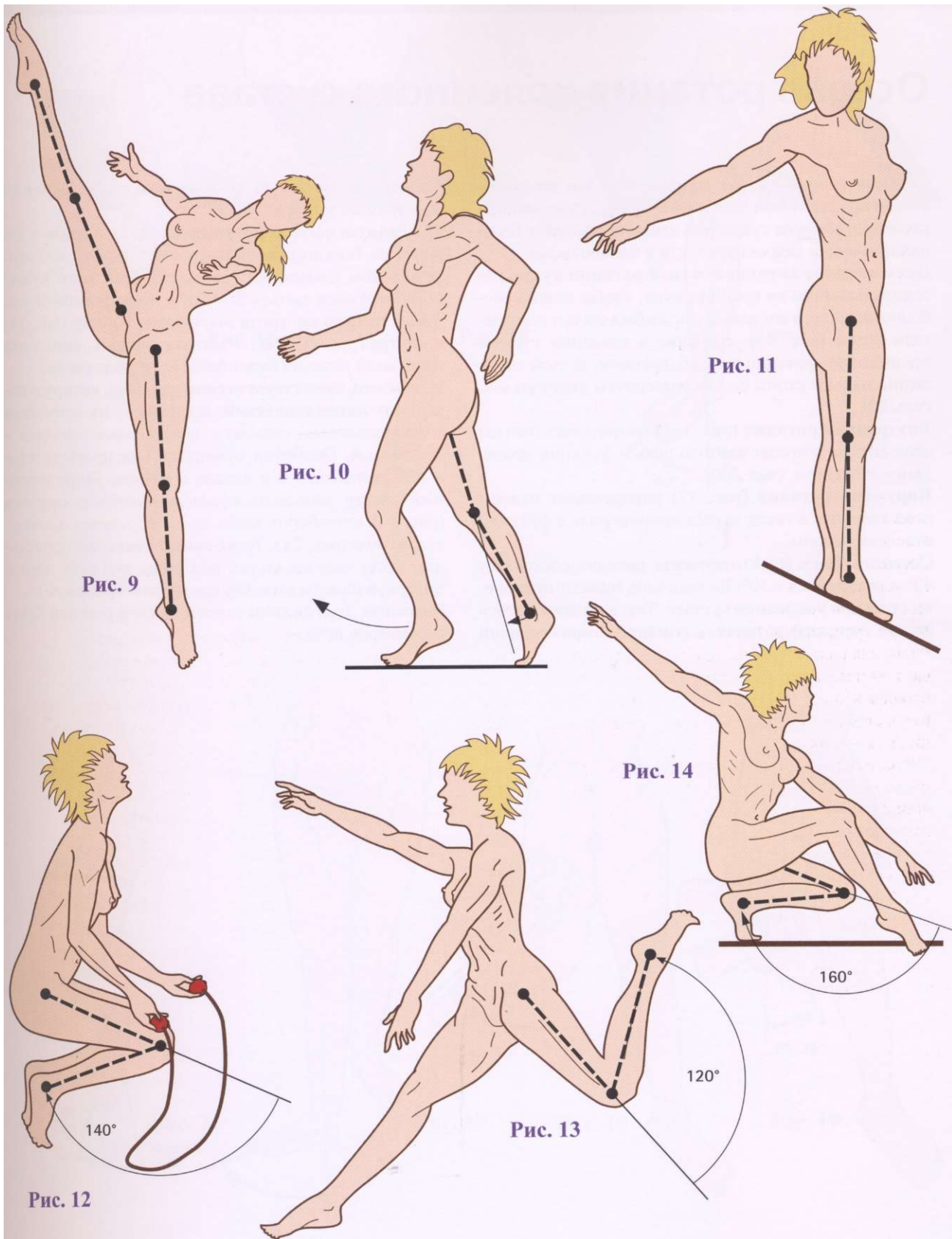
**Относительное разгибание** - это движение, обеспечивающее полное разгибание в коленном суставе, начиная из любого положения сгибания (рис. 10, левая конечность, впереди). Оно имеет место при ходьбе, когда *неопорная конечность* разгибается, чтобы прийти в контакт с плоскостью опоры.

**Сгибание** - это движение задней поверхности голени по направлению к задней поверхности бедра. Сгибание может быть *абсолютным*, т.е. из исходного положения, и *относительным*, т.е. из положения частичного сгибания.

Амплитуда сгибания в коленном суставе варьирует в зависимости от положения тазобедренного сустава и в зависимости от того, является ли сгибание активным или пассивным.

**Активное сгибание** достигает 140°, если тазобедренный сустав уже согнут (рис. 12), и только 120°, если он разогнут (рис. 13). Различие объясняется тем, что седалищно-бедренные мышцы в какой-то мере утрачивают свою эффективность при разогнутом тазобедренном суставе (см. стр. 166). Тем не менее возможно превысить этот предел в 120° сгибания при разогнутом тазобедренном суставе, воспользовавшись эффектом «продолжения движения» седалищно-бедренных мышц. Когда они резко и мощно сокращаются, коленный сустав приходит в положение сгибания, и за этим следует некоторое пассивное сгибание.

**Пассивное сгибание** в коленном суставе достигает 160° (рис. 14), что позволяет пятке соприкоснуться с ягодицей. Это важный клинический тест, позволяющий определить свободу сгибания в коленном суставе и объем пассивного сгибания, измерив расстояние между пяткой и ягодицей. Обычно величину сгибания определяют по сближению эластичных мышечных масс бедра и икры. При наличии патологии пассивное сгибание бывает ограничено ретракцией разгибательного аппарата, преимущественно четырехглавой мышцей, или укорочением связок капсулы (см. стр. 122). Количественно определить дефицит сгибания можно, измерив разницу между достижимым сгибанием и максимально ожидаемым (160°), или расстояние между пяткой и ягодицей, *дефицит разгибания* всегда представлен отрицательным числом: например, *дефицит сгибания* в -60°, измеренный между положением, достигаемым при пассивном разгибании, и нейтральным положением. На рис. 13 голень согнута на 120°, и если ее нельзя разогнуть больше, то дефицит разгибания составит -120°.



# Осевая ротация коленного сустава

**Ротация голени вокруг продольной оси** возможна только при *согнутом коленном суставе*, тогда как при разогнутом колене суставной замок превращает большеберцовую и бедренную кости в единое целое.

Для измерения **активной осевой ротации** нужно посадить больного на край кушетки, чтобы голени свободно свисали, а коленный сустав был согнут под прямым углом (рис. 15): сгибание в коленном суставе препятствует ротации в тазобедренном. В этом положении пальцы стопы слегка развернуты кнаружи (см. стр. 90).

**Внутренняя ротация** (рис. 16) поворачивает пальцы стоп внутрь и играет важную роль в функции приведения стопы (см. стр. 200).

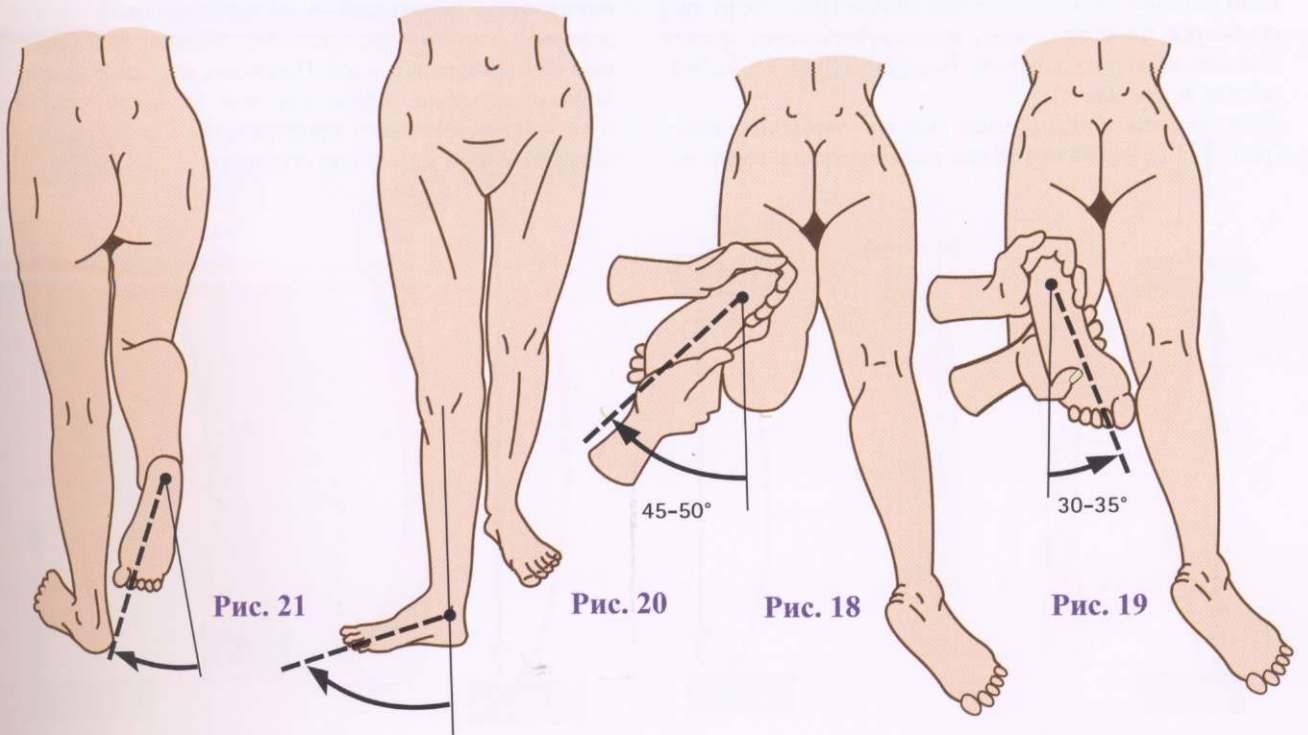
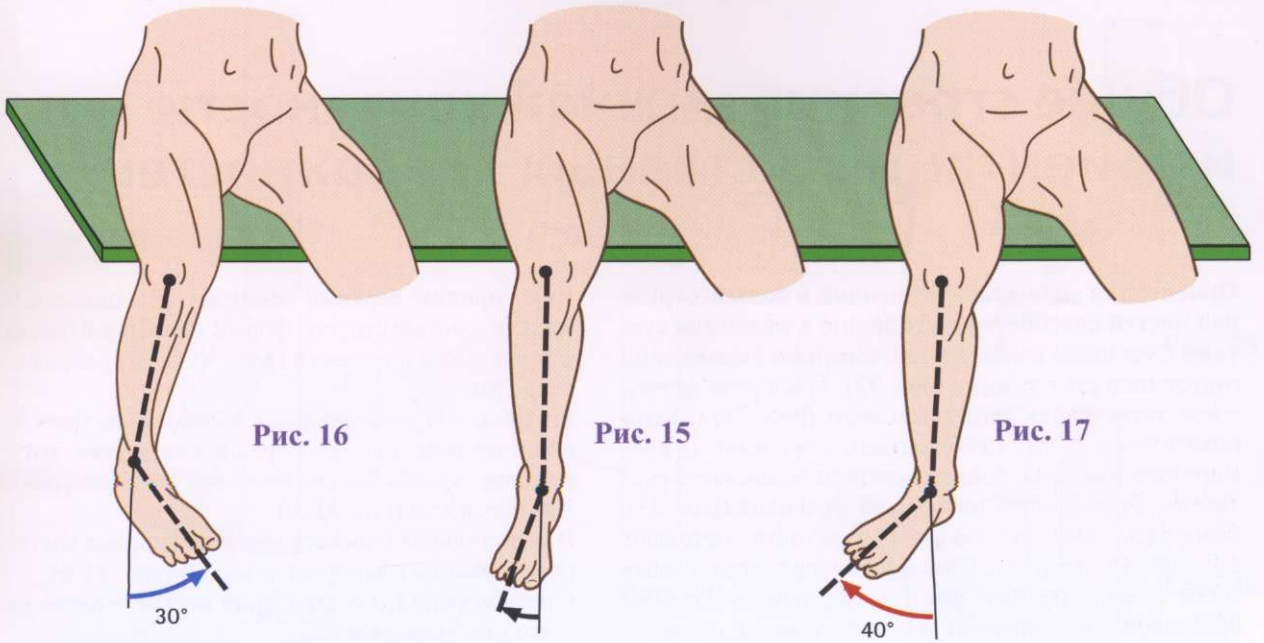
**Наружная ротация** (рис. 17) поворачивает пальцы стоп кнаружи, а также играет важную роль в функции отведения стопы.

Согласно Фику (Fick) наружная ротация составляет  $40^\circ$  и внутренняя —  $30^\circ$ . Ее величина зависит от степени сгибания в коленном суставе. Так, по данным этого автора, наружная ротация достигает  $32^\circ$  при сгибании

в коленном суставе на  $30^\circ$  и  $42^\circ$  при сгибании голени под прямым углом.

**Пассивную осевую ротацию** можно измерить в положении больного на животе с *согнутыми под прямым углом коленными суставами*. Для этого нужно обеими руками взяться за стопу и поворачивать ее так, чтобы пальцы смотрели поочередно наружу (рис. 18) и внутрь (рис. 19). Как и следует ожидать, амплитуда пассивной ротации будет больше, чем активной.

И, наконец, существует **осевая ротация, которую называют автоматической**, поскольку она неизбежна и непроизвольно *связана с движениями сгибания и разгибания*. Особенно отчетливо она проявляется в конце разгибания и в начале сгибания. Когда коленный сустав *разогнут*, стопа *ротирована кнаружи* (рис. 20), и наоборот, когда он согнут, голень *повернута кнутри* (рис. 21). Те же самые движения происходят, когда человек сидит, подложив под себя ноги и повернув пальцы стоп кнутри (положение плода). Механизм этой автоматической осевой ротации будет рассмотрен позже.



# Общее строение нижней конечности и ориентация суставных поверхностей

**Ориентация мыщелков бедренной и большеберцовой костей способствует сгибанию в коленном суставе.** Суставные концы костей, совершая движения по отношению друг к другу (рис. 22), приобрели форму, соответствующую этим движениям (рис. 23) (следуя опыту Фика (Fick)). Сгибание не будет достигать прямого угла (рис. 24), пока из верхнего компонента сустава не будет удален небольшой фрагмент (рис. 25), благодаря чему суставные поверхности начинают приходить в контакт. Создаваемая при этом слабая точка в кости компенсируется смещением диафиза бедренной кости кпереди так, что *мышцелки оказываются сзади* (рис. 26). Соответственно большеберцовая кость оказывается тоньше сзади и мощней спереди (рис. 27), поэтому ее *суставное плато лежит кзади*. В целом **изгиб костей нижней конечности** отражает воздействующие на них нагрузки в соответствии с законами Ойлера (Euler), управляющими движением колонн в условиях эксцентрической нагрузки (Steindler).

*Если колонна свободна с обоих концов* (рис. 29, а), она сгибается по всей длине, что соответствует форме бедренной кости с вогнутостью кзади (рис. 29, б), бедренная кость сбоку).

*Если колонна фиксирована снизу и свободна сверху* (рис. 30, а), появляются два разнонаправленных из-

гиба, причем верхний занимает 2/3 колонны. Эти изгибы соответствуют форме бедренной кости во фронтальной плоскости (рис. 30, б, бедренная кость спереди).

*Если колонна фиксирована с обоих концов* (рис. 31, а), изгиб происходит в двух средних четвертях; это соответствует изгибу большеберцовой кости во фронтальной плоскости (рис. 31, б).

В сагиттальной плоскости большеберцовая кость имеет следующие три характеристики (рис. 32, б):

- ретроторсия **t**, т.е. смещение верхнего конца кзади, что уже упоминалось;
- ретроверсия **v**, означающую, что мыщелки большеберцовой кости наклонены кзади под углом 5-6° по отношению к горизонтальной плоскости;
- ретрофлексия **f**, т.е. большеберцовая кость изогнута с вогнутостью кзади, что соответствует искривлению колонны, подвижной с обоих концов (рис. 32, а), то же самое характерно и для бедренной кости.

При сгибании (рис. 28, бедренная кость при сгибании) **вогнутости бедренной и большеберцовой костей** повернуты друг к другу, что обеспечивает *пространство для мышечных масс*. Подобное строение эквивалентно строению плеча (см. том 1), когда костные изгибы предоставляют пространство для расположения мышечной массы при сгибании.





Рис. 22

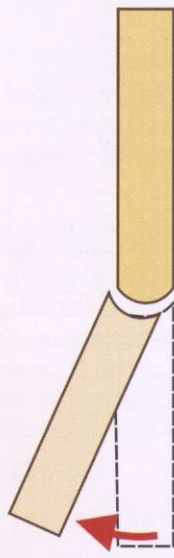


Рис. 23

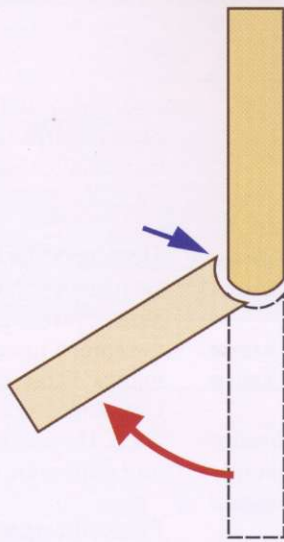


Рис. 24

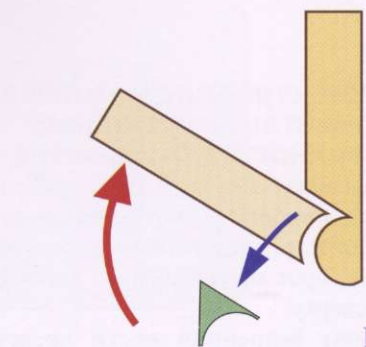


Рис. 25

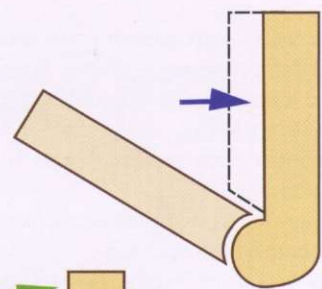


Рис. 26

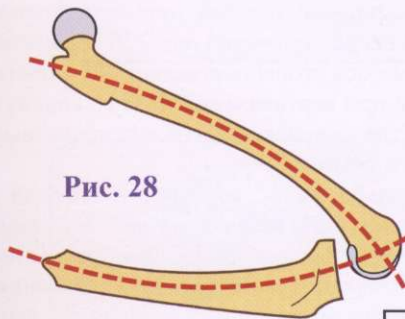


Рис. 28

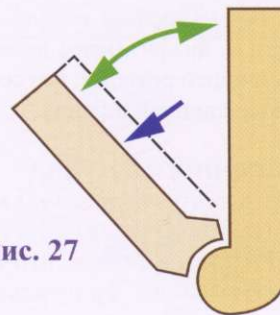


Рис. 27

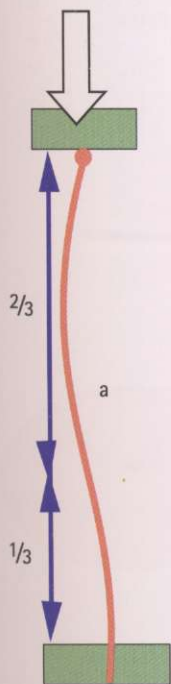
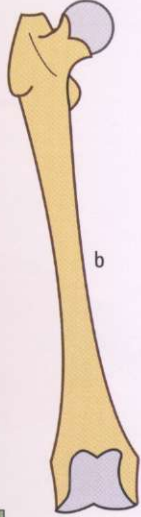
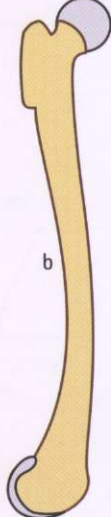


Рис. 30



b



b



Рис. 29

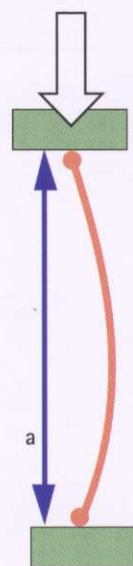
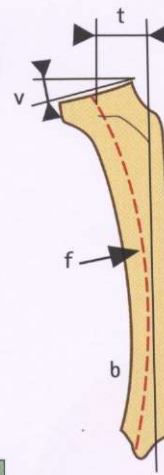


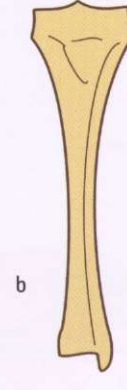
Рис. 32



f

v

t



b

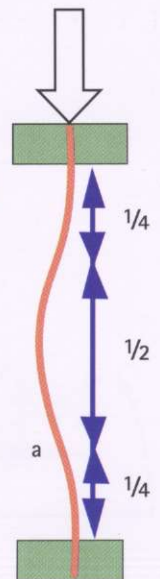


Рис. 31

## Общее строение нижней конечности и ориентация суставных поверхностей (продолжение)

Схемы внизу страницы является примером «анатомической алгебры». Они представляют собой попытку объяснить последовательное осевое перекручивание или поворот костей нижней конечности, если смотреть сверху.

**Поворот бедренной кости** представлен на схеме изображением крайних частей бедренной кости (рис. 33):

- верхняя часть или шейно-головчатая **A**, включающая в себя головку и шейку бедра (синего цвета);
- вместе с дистальным эпифизом и двумя мышечками **B** (красного цвета);
- без поворота, ось шейки бедра **b** параллельна оси мышечков;
- но в реальности ось шейки формирует угол в  $30^\circ$  с фронтальной плоскостью **c**;
- поэтому для того чтобы ось мышечков оставалась во фронтальной плоскости **d**, диафиз бедра должен быть скручен до  $-30^\circ$  внутренней ротации, что соответствует углу наклона кпереди шейки бедра.

### Поворот на уровне коленного сустава

Коленный сустав приводит в контакт (рис. 34а) мышечки бедренной кости **B** (красного цвета) с суставными ямками **C** (зеленого цвета). Кажется, что обе оси должны быть параллельны во фронтальной

плоскости **B**. Но в действительности автоматическая осевая ротация с приводит к внутренней ротации большеберцовой кости на  $+5^\circ$  при полном разгибании.

### Поворот большеберцовой кости

Большеберцовая кость (рис. 35) схематично представлена суставными ямками большеберцовой кости **C** (зеленого цвета) и голеностопным суставом, включающим блок таранной кости **D** (коричневого цвета). Оси этих двух суставных поверхностей не параллельны **B**. Но благодаря повороту большеберцовой кости с они образуют угол в  $+25^\circ$  при наружной ротации.

### Результирующая поворотов

Последовательные повороты (рис. 36, схема, вид спереди) по всей длине нижней конечности в итоге равны нулю:  $-30^\circ + 25^\circ + 5^\circ = 0$ . Это приводит к тому, что ось голеностопного сустава примерно параллельна оси шейки бедра, примерно при  $+30^\circ$  *наружной ротации*. Поэтому ось стопы составляет  $30^\circ$  с плоскостью симметрии при вертикальной позе со сдвинутыми пятками, и таз оказывается сбалансированным (красного цвета) и симметричным **B**.

При ходьбе вынос конечности кпереди приводит к *движению таза кпереди на той же стороне с*. Если таз поворачивается на  $30^\circ$ , *ось стопы направляется прямо кпереди* по направлению движения всего тела, что создает оптимальные условия для шага.

Рис. 33

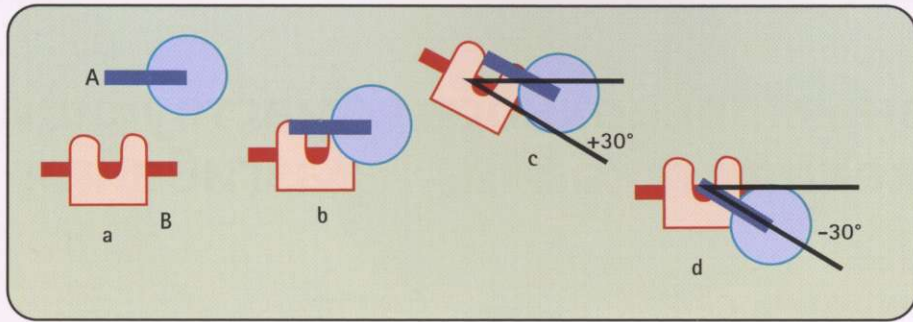


Рис. 34

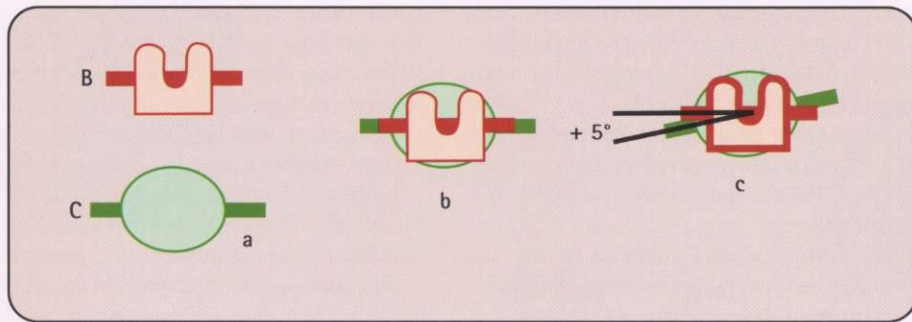


Рис. 35

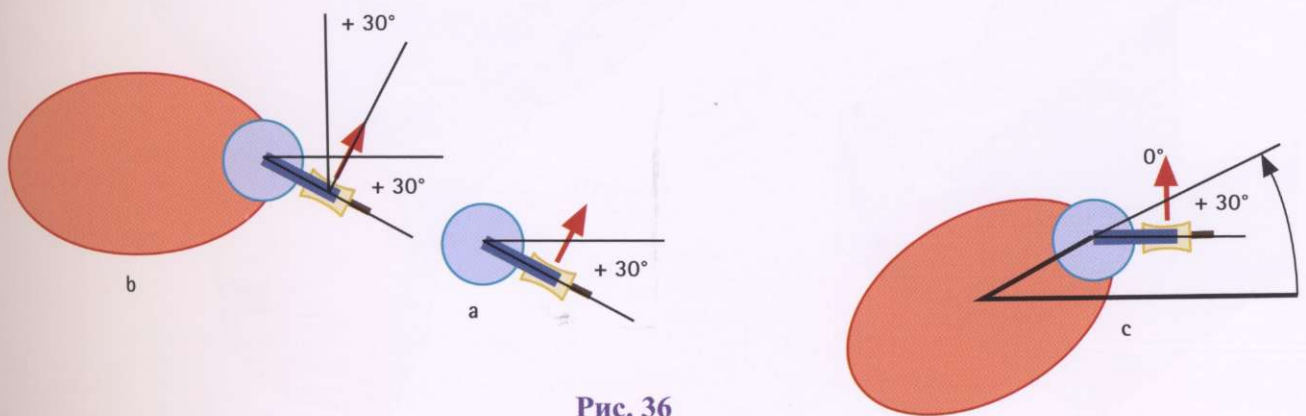
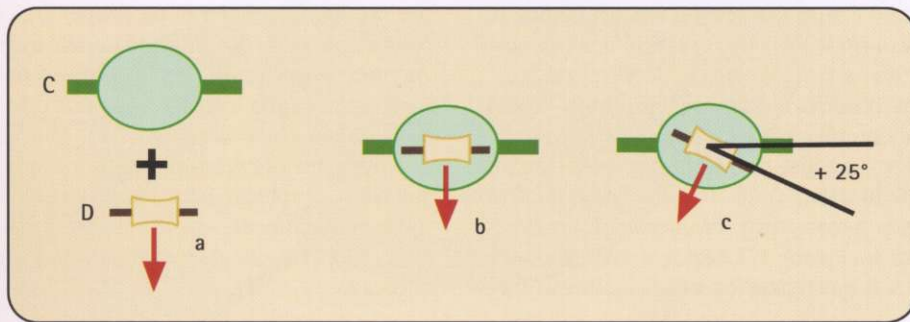


Рис. 36

# Суставные поверхности, участвующие в движениях сгибания и разгибания

То, что основные движения в коленном суставе, а именно **сгибание и разгибание**, осуществляются вокруг *поперечной оси*, объясняется **блоковидностью сустава**. Действительно, суставная поверхность бедренной кости имеет форму блока, точнее говоря, представляет собой часть блока (рис. 37), напоминающая в какой-то степени шасси самолета (рис. 38).

*Двояковыпуклые мышелки бедренной кости* образуют боковые части блока и соответствуют колесам самолета. Спереди (рис. 39) их продолжением являются блокообразные поверхности бедренной кости. Центральная часть блока представлена спереди центральной бороздой на поверхности надколенника, а сзади - межмышелковой вырезкой (механическая значимость подобного строения станет ясна позже). Некоторые авторы описывают коленный сустав как двумышелковый. Это правильно с анатомической точки зрения, но с позиций биомеханики этот сустав, вне всяких сомнений, принадлежит к *блоковидным, особого типа*.

**Суставная поверхность большеберцовой кости** имеет соответствующие изгибы и образует два вогнутых параллельных желоба, разделенных возвышением, идущим спереди назад (рис. 40, объемное изображение, вид сверху и изнутри). *Наружный мышелок GE* и *внутренний мышелок GI* лежат в этих желобах на поверхности S и разделяются возвышением, идущим

в переднезаднем направлении, где находятся *два межмышелковых бугорка*. Спереди, если это возвышение продолжить, оно совпадет с *вертикальным гребнем на глубокой поверхности надколенника R*, а две фасетки по обе стороны от него соответствуют мышелкам большеберцовой кости. Эти поверхности имеют поперечную ось I, которая соответствует межмышелковой оси II, когда сустав замкнут.

Таким образом, мышелки большеберцовой кости соответствуют мышелкам бедренной кости, а межмышелковое возвышение большеберцовой кости - межмышелковой вырезке бедренной. Функционально эти поверхности образуют бедренно-большеберцовый сустав. Спереди две фасетки надколенника соответствуют **блоковой поверхности бедренной кости**, а вертикальный гребень надколенника входит в **межмышелковое углубление на бедре**. Эти поверхности образуют второй функциональный сустав - **бедренно-надколенниковый**. Эти два отдельных функциональных сочленения *входят в состав одного анатомического сустава* - коленного.

*С точки зрения сгибания и разгибания* коленный сустав можно прежде всего рассматривать как блоковидную поверхность, скользящую в вогнутых желобах (рис. 41). Но, как станет ясно позже, на деле ситуация сложнее.

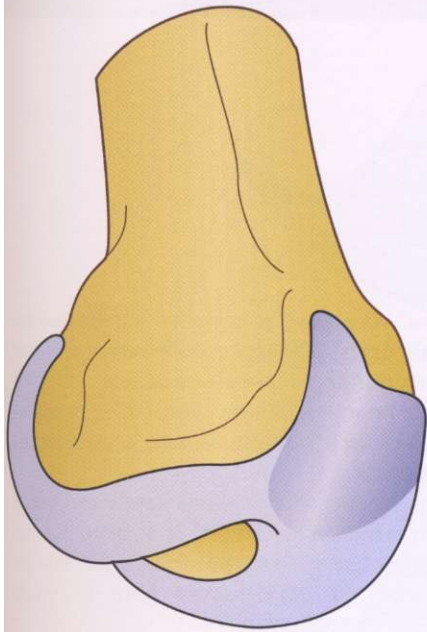


Рис. 39

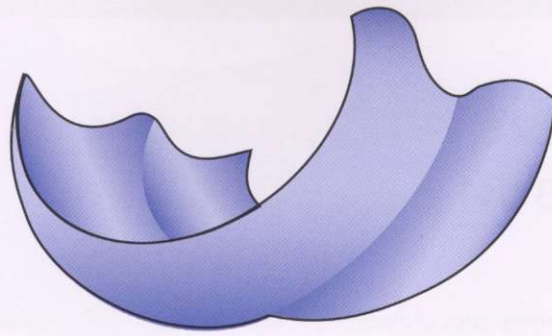


Рис. 37

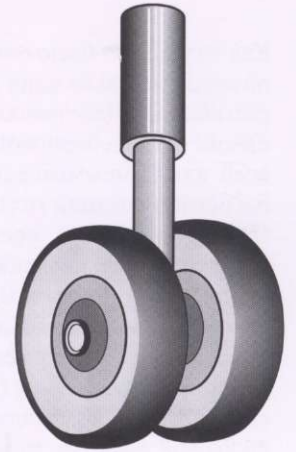


Рис. 38

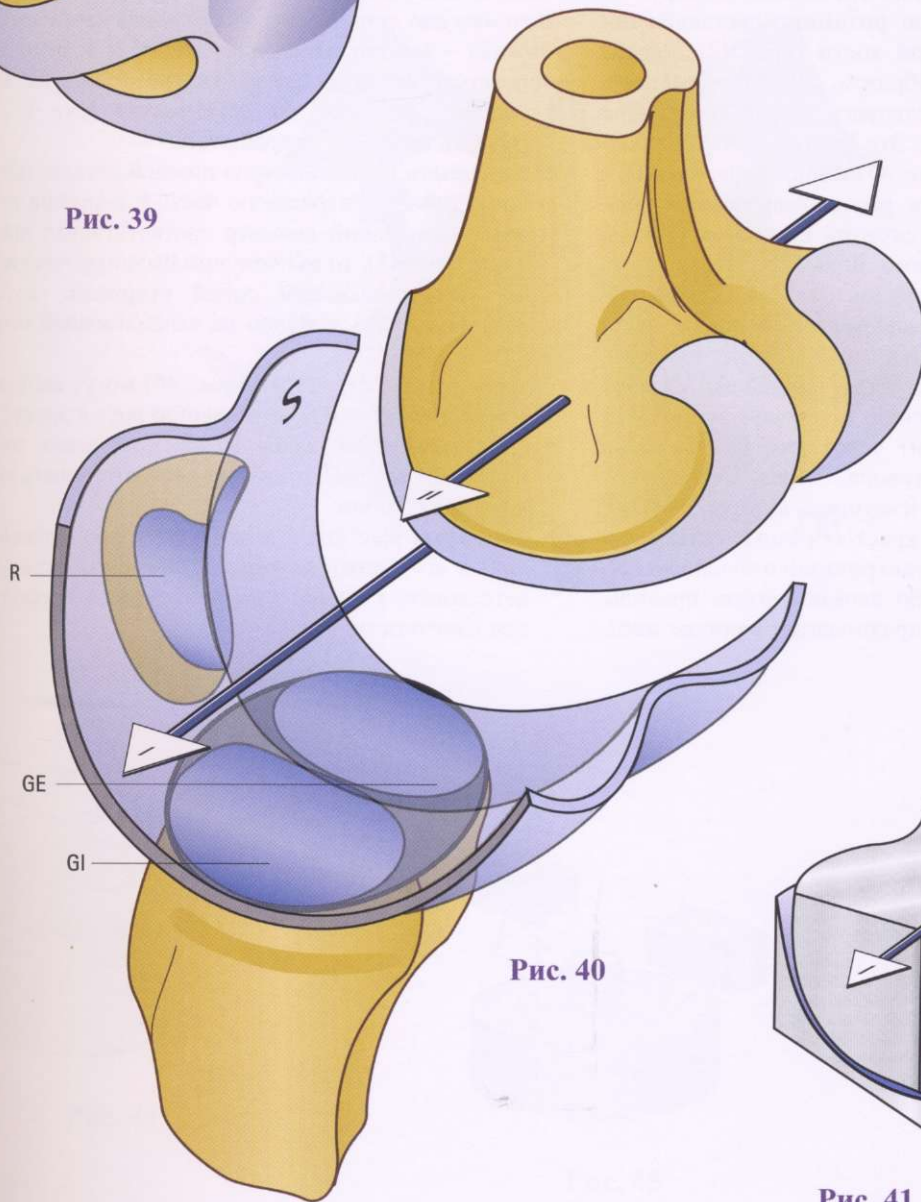


Рис. 40

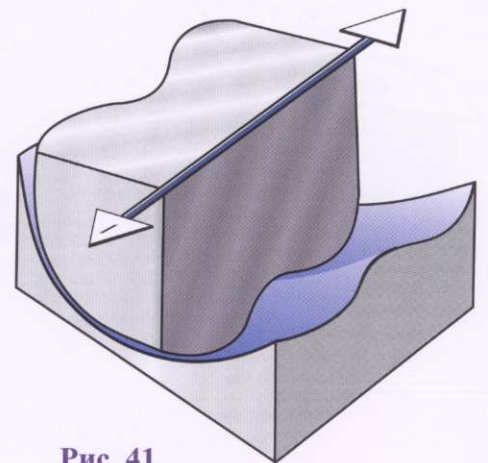


Рис. 41

# Суставные поверхности при осевой ротации

Как только что было описано, суставные поверхности позволяют только одно движение, а именно сгибание-разгибание. Действительно, межмышечковое возвышение большеберцовой кости, располагающееся по всей длине межмышечковой вырезки бедра, мешало бы осевой ротации голени по отношению к бедру.

**Чтобы позволить осевую ротацию**, суставная поверхность большеберцовой кости (рис. 42) должна видоизмениться таким образом, чтобы уменьшить протяженность межмышечкового возвышения и оно превратилось в стержень. Это было достигнуто посредством сглаживания (рис. 43) концов возвышения, а средняя часть возвышения, расположенная в межмышечковой вырезке, стала служить **стержнем** (точкой вращения), вокруг которого большеберцовая кость может вращаться. Этот стержень представлен **межмышечковыми остями большеберцовой кости**, которые образуют латеральный край внутреннего мыщелка и медиальный край наружного мыщелка. *Вертикальная ось R*, по отношению к которой происходит **осевая ротация**, проходит через этот центральный стержень, или, точнее говоря, через медиальную межмышечковую ость. Некоторые авторы считают *центральным стержнем* крестообразные связки, полагая, что они являются осью ротации в коленном суставе. Такую терминологию нельзя считать правильной, поскольку стержень предполагает наличие жест-

кой точки опоры, каковым и служит **медиальная межмышечковая ость**. Для крестообразных связок больше подходит термин *центральное звено*.

Понять описанное видоизменение суставных поверхностей для обеспечения ротации можно с помощью **механической модели**.

Возьмем две детали (рис. 44): верхняя имеет желоб, а нижняя - выступ. Поскольку желоб и выступ точно соответствуют друг другу, эти две структуры могут *свободно скользить по отношению друг к другу* (стрелки), но не могут вращаться.

Если срезать концы выступа нижней детали, оставив нетронутой ее центральную часть и скруглив ее так, чтобы наибольший диаметр соответствовал ширине желоба (рис. 45), то мы получим цилиндрический выступ, представляющий собой **стержень**, который можно поместить в желоб на вышележащей поверхности.

Теперь эти две структуры (рис. 46) могут выполнять *два типа движений* по отношению друг к другу:

- **скольжение** центрального выступа вдоль желоба (верхние стрелки), что будет соответствовать сгибанию/разгибанию;
- **повороты** выступа в желобе (при расположении в любой его части) (нижние стрелки), что будет соответствовать ротации по отношению к продольной оси конечности.

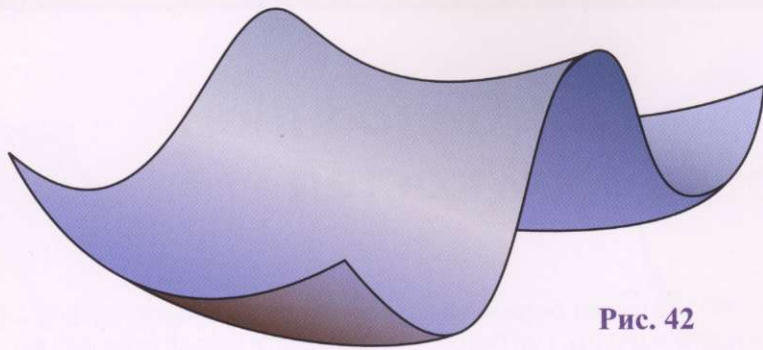


Рис. 42

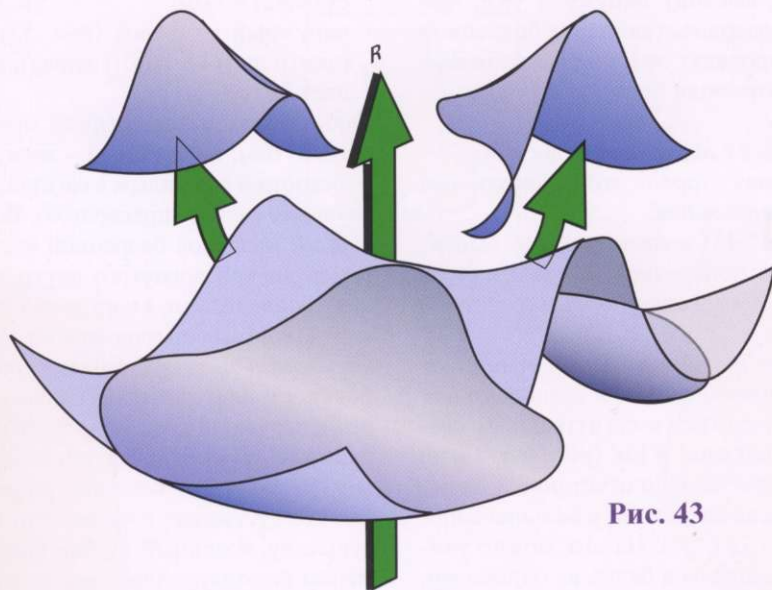


Рис. 43

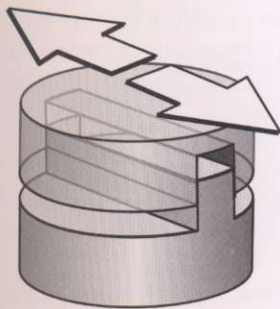


Рис. 44

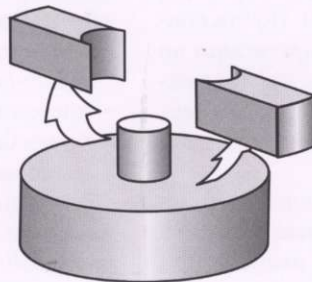


Рис. 45

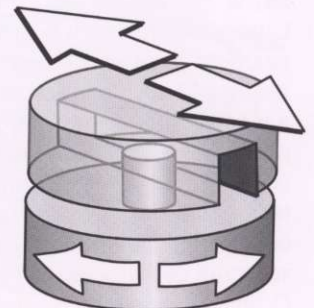


Рис. 46

# Форма мыщелков бедренной и большеберцовой костей

Если смотреть **снизу** (рис. 47), мыщелки бедренной кости образуют двояковыпуклые выступы, они более вытянуты в переднезаднем, чем в поперечном, направлении. Мыщелки не являются строго идентичными: их длинные оси (переднезадние) идут не параллельно, а *расходятся кзади*. Кроме того, внутренний мыщелок I более выстоит наружу и уже, чем наружный E. Между поверхностью блока бедренной кости и мыщелками проходят *мышцелково-блоковые борозды* г, причем внутренняя более отчетлива, чем наружная.

*Межмышцелковая вырезка* e лежит на оси *межмышцелковой ямки* f. Латеральная сторона этой поверхности выстоит больше, чем медиальная.

*Фронтальный срез* (рис. 48) показывает, что выпуклость мыщелков бедра в поперечной плоскости соответствует вогнутостям мыщелков большеберцовой кости.

Чтобы представить себе *изогнутую форму мыщелков бедренной и большеберцовой костей в сагиттальной плоскости*, удобнее обратиться к сагиттальным срезам, сделанным на уровнях aa' и bb' (рис. 48). Такие срезы на свежей кости достаточно отчетливо показывают очертания мыщелков бедренной и большеберцовой костей (рис. 50, 51, 52 и 53). На них можно увидеть, что радиус дуги мыщелков бедра не однороден, а меняется наподобие спирали.

В геометрии **спираль Архимеда** (рис. 49) конструируется вокруг точки, называемой ее центром С, так, что каждый раз, когда радиус **R** переходит на новый виток **R'**, его длина соответственно увеличивается. Спираль мыщелков бедра совсем другая, хотя и здесь радиусы дуг увеличиваются в переднезаднем направлении с 17 до 38 мм для внутреннего мыщелка (рис. 50) и с 12 до 60 мм - для наружного (рис. 51). Но эта спираль имеет не один, а *несколько центров, лежащих на спиралях mm'* (внутренний мыщелок) и *nn'* (наружный мыщелок), поэтому дуга мыщелков представляет собой *спираль спиралей*, как это показал Фик (Fick), назвавший ее *эволюционирующей дугой*.

С другой стороны, с определенной точки **t** на краю мыщелка радиус кривизны начинает уменьшаться, а именно с 38 до 15 мм в заднепереднем направлении

для внутреннего мыщелка (рис. 50) и с 60 до 16 мм на поверхности большеберцовой кости (рис. 51).

**Переднезадний профиль мыщелков большеберцовой кости** (рис. 52 и 53) различен:

- внутренний мыщелок (рис. 52) наверху **вогнутый** (центр дуги **O** лежит наверху), и радиус дуги составляет 80 мм;
- наружный мыщелок (рис. 53) наверху **выпуклый** (центр дуги **O'** лежит внизу), и радиус дуги составляет 70 мм.

Таким образом, внутренний мыщелок является двояковогнутым, а наружный - вогнутым во фронтальной плоскости и выпуклым в сагиттальной (по результатам изучения свежих препаратов). Вследствие этого внутренний мыщелок бедренной кости относительно стабилен внутри вогнутого внутреннего мыщелка большеберцовой кости, а *наружный мыщелок бедра нестабилен, так как он «ходит» по выпуклой поверхности наружного мыщелка большеберцовой кости*. Его стабильность при движениях зависит от целостности передненаружной крестообразной связки **LCAE**.

Радиусы дуг контактирующих друг с другом мыщелков бедренной и большеберцовой костей не равны, так что суставные поверхности **не конгруэнтны**. По существу, коленный сустав является типичным примером *дисконгруэнтности суставных поверхностей*. Обеспечение конгруэнтности возлагается на **мениски** (см. стр. 108). Впереди наружного мыщелка (рис. 50, 51) центры 108 лежат на спиралях m'm" (внутренний мыщелок) и n'n" (наружный мыщелок). В целом линии, соединяющие эти центры дуги, представляют собой спирали, лежащие спина к спине, и имеют очень острую вершину t' и n', что соответствует точке t на мыщелке, т.е. точке перехода между двумя составляющими мыщелка:

- кзади от точки **t** часть мыщелка принадлежит *бедренно-большеберцовому суставу*,
- впереди от точки **t** часть мыщелка и поверхность блока бедренной кости принадлежат *бедренно-надколенниковому суставу*.

Переходная точка **t** является *самой крайней точкой* на мыщелке бедра, способной контактировать с большеберцовой костью.



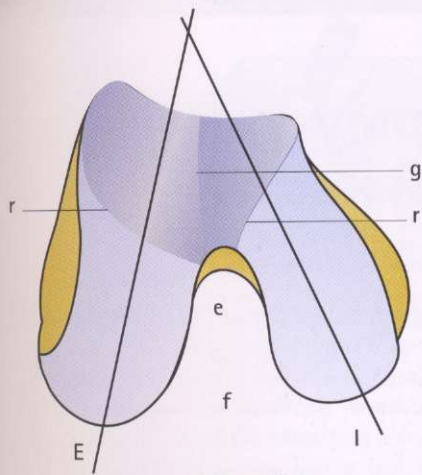


Рис. 47

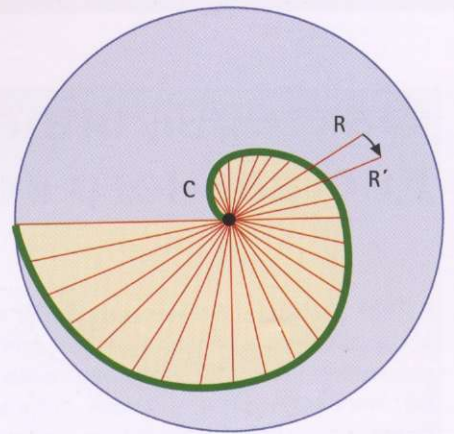


Рис. 49

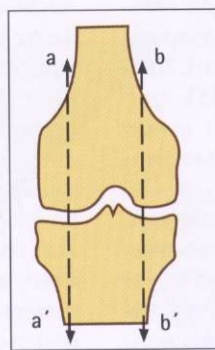


Рис. 48

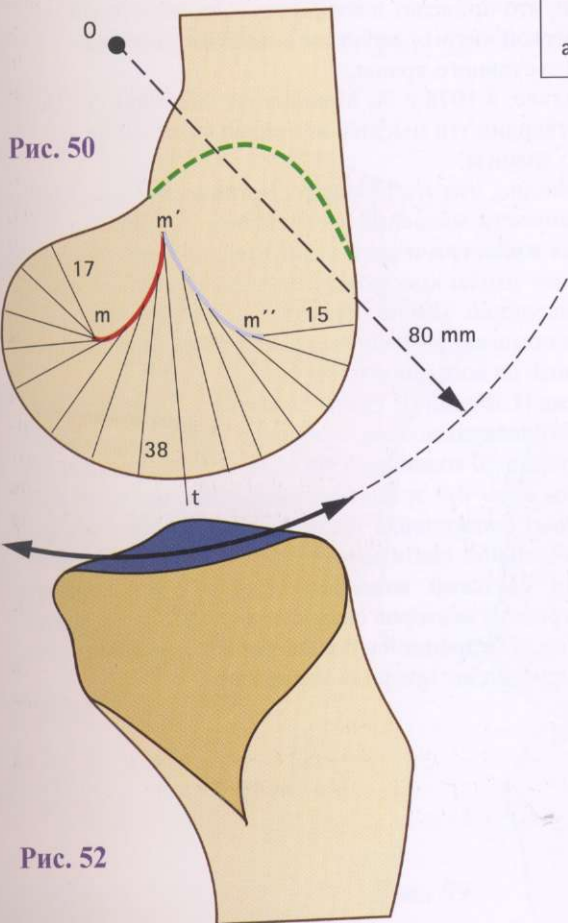


Рис. 50

Рис. 52

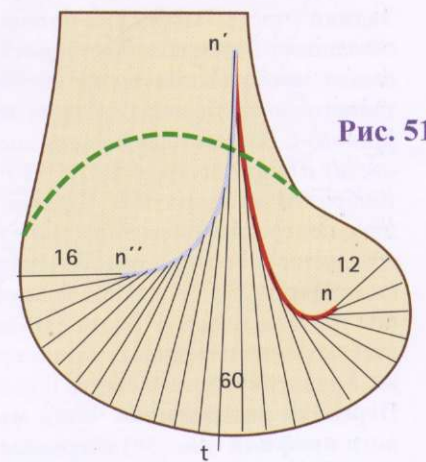


Рис. 51

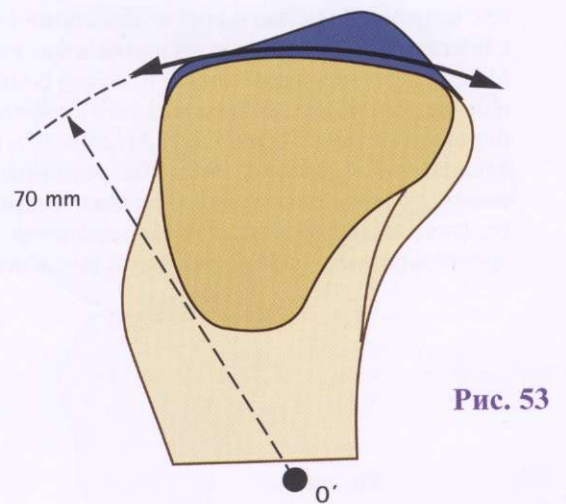


Рис. 53

# Факторы, определяющие форму дистального конца бедренной кости

В 1967 г. с помощью **механической модели** (рис. 54) я показал, что контуры блока бедренной кости и ее мыщелков являются **геометрическими комплексами**, определяемыми, с одной стороны, взаимодействием между крестообразными связками и точками их прикрепления к бедренной и большеберцовой костям, а с другой - взаимоотношениями между общей связкой надколенника, самим надколенником и поддерживающими связками (см. модель II в конце книги). **Когда эту модель приводят в движение** (рис. 55), *профили мыщелков бедра и блока очерчиваются цепью последовательных положений* мыщелков большеберцовой кости и надколенника (рис. 56).

**Задняя часть мыщелко-блоковидного профиля**, связанная с большеберцовой костью (рис. 57), очерчивается последовательными положениями (1-5) суставного плато большеберцовой кости, интимно связанного с бедром передненааружной LCAE (красного цвета) и задневнутренней LCPI (синего цвета) крестообразными связками. Каждая связка описывает дугу, центр которой расположен в точке прикрепления к бедренной кости, а радиус равен длине связки. Таким образом, на последних градусах крайнего сгибания суставные поверхности расходятся спереди из-за расслабления передненааружной крестообразной связки, а задневнутренняя связка при этом натянута.

**Передняя надколенная часть мыщелко-блоковидного профиля** (рис. 58) очерчивается последовательными положениями (1-5) надколенника, соединенного с бедренной костью поддерживающими связками, а с большеберцовой - **связкой надколенника**.

Между передней надколенной и задней большеберцовой частями мыщелко-блоковидного профиля имеется **переходная точка t** (рис. 50 и 51, стр. 97), представляющая собой границу между бедренно-надколенным и бедренно-большеберцовым суставами.

Изменяя геометрические взаимоотношения в системе крестообразных связок, можно проследить целую

*«семью» дуг* для мыщелков и блока. Это подчеркивает уникальность каждого коленного сустава. Если судить с позиций геометрии, то не существует двух одинаковых коленных суставов, поэтому так трудно создать *эндопротез, который подходил бы всем*. Эндопротезы могут лишь *более или менее точно приближаться к настоящему коленному суставу*.

Те же проблемы возникают и при **пластике или эндопротезировании крестообразных связок**. Например, если точку прикрепления передненааружной крестообразной связки к большеберцовой кости переместить кпереди (рис. 59), то окружность, описываемая ее прикреплением к бедренной кости, также переместится кпереди (рис. 60); и вследствие этого появится новый мыщелковый профиль, лежащий внутри первичного, что приведет в возникновению некоторой механической «игры» в суставе с преждевременным износом суставного хряща.

Позднее, в 1978 г. А. Меншик (А. Menschik) из Вены подтвердил эти мысли с помощью чисто геометрического анализа.

Очевидно, что эта теория геометрической детерминированности мыщелко-блоковидного профиля основана на **изометрической гипотезе**, а именно на *постоянстве длины крестообразных связок*, что не совсем справедливо. Тем не менее она объясняет многие факты и помогает разрабатывать новые операции, направленные на восстановление связок.

Позже П. Фрайн (P. Frain) с соавторами, используя математическую модель, основанную на анатомическом изучении 20 коленных суставов, подтвердил правильность *идеи дуг и множественность центров спонтанных движений*, а также подчеркнул наличие функциональной связи между крестообразными и боковыми связками коленного сустава. Компьютерное построение векторов скорости в каждой точке контакта между бедренной и большеберцовой костями точно воспроизводит профиль мыщелков.

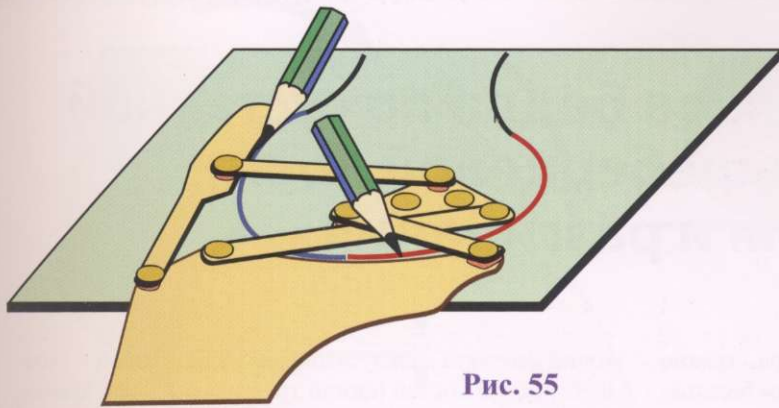


Рис. 55

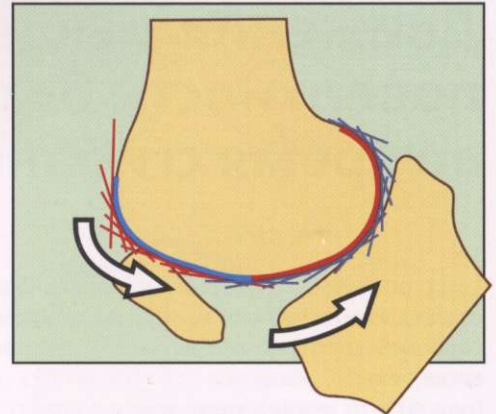


Рис. 56

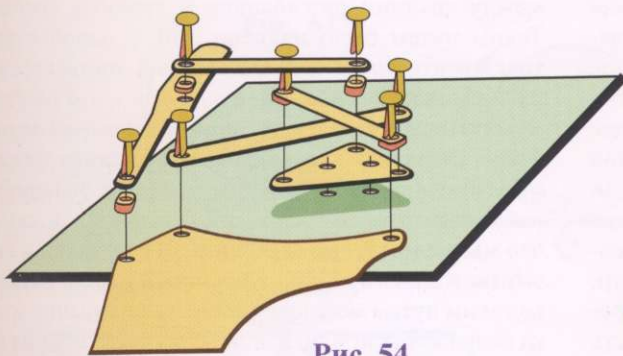


Рис. 54

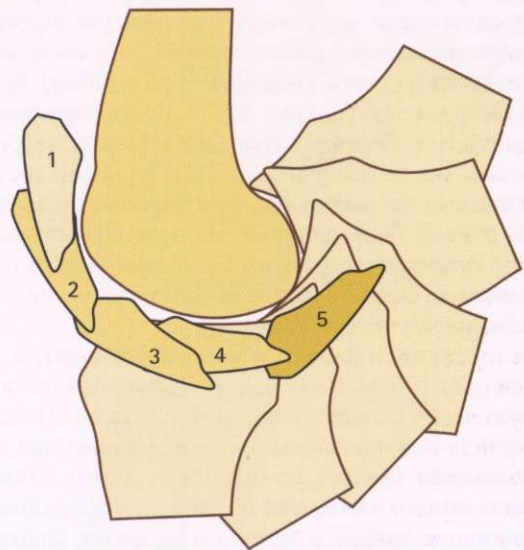


Рис. 58

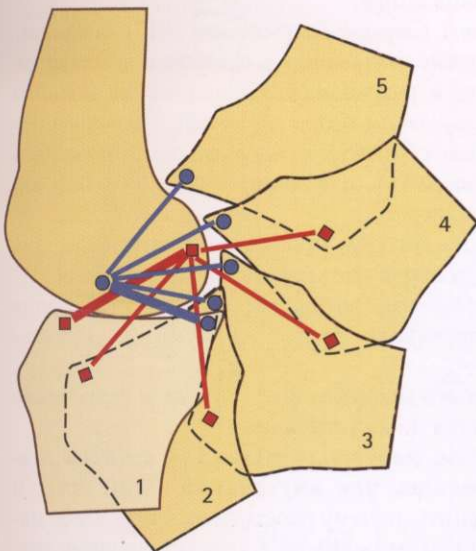


Рис. 57

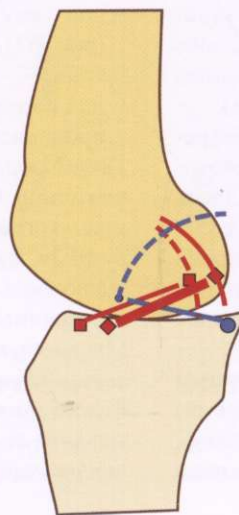


Рис. 59

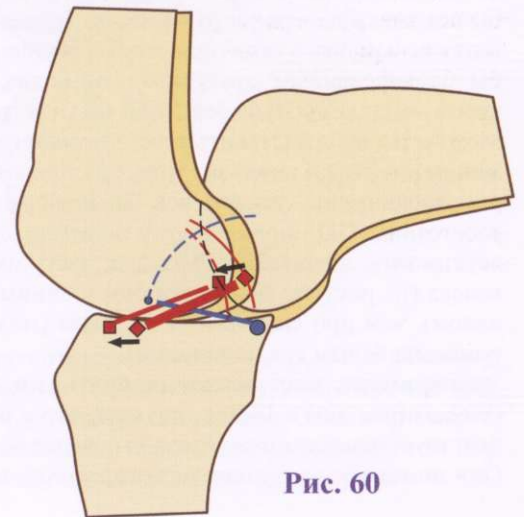


Рис. 60

# Движения мыщелков бедра по суставной поверхности большеберцовой кости во время сгибания и разгибания

Судя по округлой форме мыщелков бедра, можно предположить, что они катятся по мыщелкам большеберцовой кости, но это не так. В действительности, когда *колесо катится по земле без скольжения* (рис. 61), то каждой точке земли соответствует какая-то точка на колесе, поэтому расстояние, пройденное по земле  $OO''$ , будет точно равно той части окружности колеса, которая *прокатилась* по ней (на рисунке это будет расстояние между точкой, обозначенной треугольником, и точкой, обозначенной ромбом). Если бы это было именно так (рис. 62), то после определенной величины сгибания (положение II) мыщелок бедра оказался бы за мыщелком большеберцовой кости, т.е. произошел бы вывих; чтобы избежать этого, последний должен быть длиннее. На деле возможность простого скатывания мыщелка бедра пресекается тем, что *длина его окружности вдвое больше длины мыщелка большеберцовой кости*.

Теперь представим себе, что **колесо скользит, а не катится** (рис. 63), поэтому одной точке на земле соответствует один сегмент окружности колеса. Подобную картину можно наблюдать, когда машина при начале движения буксует на скользкой дороге. Такой тип **скользящего движения** в какой-то мере напоминает движение мыщелка бедра по мыщелку большеберцовой кости (рис. 64). В этом случае одной точке на мыщелке большеберцовой кости соответствовали бы все точки поверхности мыщелка бедра. Но становится ясным, что в такой ситуации сгибание оказалось бы заблокированным столкновением бедра с задним краем мыщелка большеберцовой кости (**стрелка**).

Можно также представить себе, что **колесо одновременно катится и скользит** (рис. 65), при этом некоторое продвижение вперед все же происходит. Здесь расстоянию  $OO'$ , пройденному по земле, будет соответствовать значительно большая часть окружности колеса (на рисунке между ромбом и синим треугольником), чем при скатывании по земле (между синим ромбом и белым треугольником).

**Эксперимент, поставленный братьями Веберами** (Weber) (рис. 66) в 1836 г., показал, что в реальности действует последний из описанных выше механизмов. Они поместили на суставном хряще соответствующие

точки контакта между мыщелками бедренной и большеберцовой костей (синий треугольник - разгибание; синий ромб - сгибание) для различных положений между крайним разгибанием и крайним сгибанием. Таким путем было найдено, что, с одной стороны, точка контакта на большеберцовой кости перемещалась кзади при сгибании, а с другой - что расстояние между точками контакта, помеченными на мыщелке бедра, оказалось вдвое больше расстояния между соответствующими точками на мыщелке большеберцовой кости. Этот эксперимент, бесспорно, доказывает, что **мышелок бедра одновременно катится и скользит по мыщелку большеберцовой кости**. Ведь только таким путем можно избежать вывихивания мыщелка бедра кзади при большой величине сгибания ( $160^\circ$ , сравните со сгибанием на рис. 64 и 66). Эти эксперименты можно воссоздать с помощью модели III, помещенной в конце книги.

*Эксперименты Страссера* (Strasser, 1917) показали, что соотношение скатывания к скольжению меняется при сгибании и разгибании. Из положения полного разгибания *мышелок бедра начинает катиться, не скользя, затем скольжение постепенно становится все более значимым*, и к концу сгибания мыщелок полностью скользит.

Расстояние, на котором происходит скатывание, для внутреннего и наружного мыщелков бедра разное:

- для внутреннего мыщелка чистое скатывание (рис. 67) происходит только на первых  $10-15^\circ$  сгибания,
- для наружного мыщелка (рис. 68) такое скатывание продолжается до  $20^\circ$  сгибания.

Таким образом, **наружный мыщелок катится значительно больше, чем внутренний**. Этим отчасти можно объяснить, почему расстояние, проходимое наружным мыщелком бедра по соответствующему мыщелку большеберцовой кости, больше по сравнению с расстоянием, проходимым внутренним мыщелком. Мы вновь вернемся к этому важному факту, говоря об *автоматической ротации* (см. стр. 170—172).

Важно также подчеркнуть, что  $15-20^\circ$  начального скатывания соответствуют *нормальной амплитуде сгибания/разгибания при обычной ходьбе*.

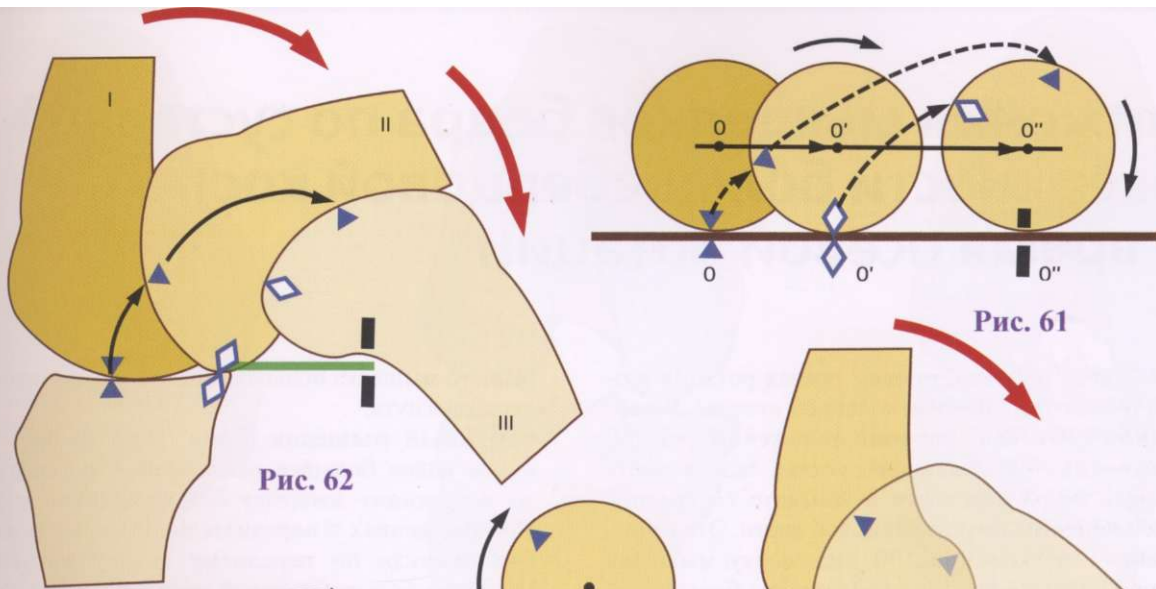


Рис. 62

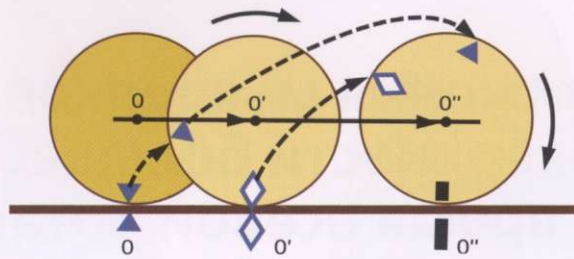


Рис. 61

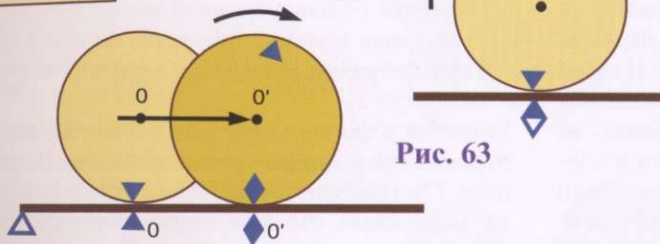


Рис. 63

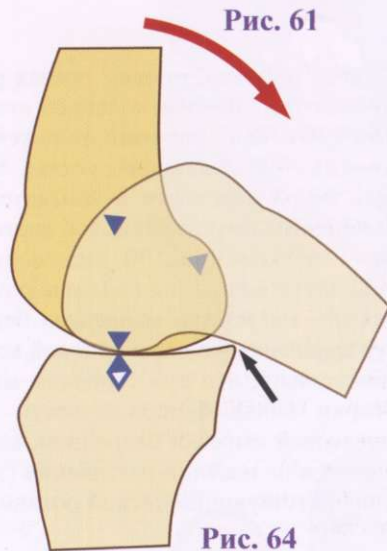


Рис. 64

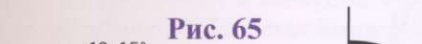


Рис. 65

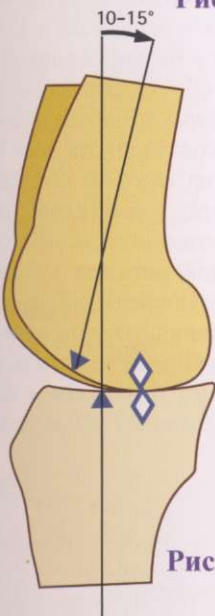


Рис. 67

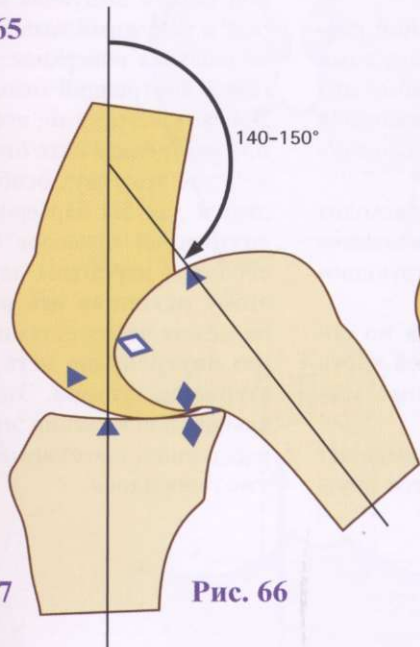


Рис. 66

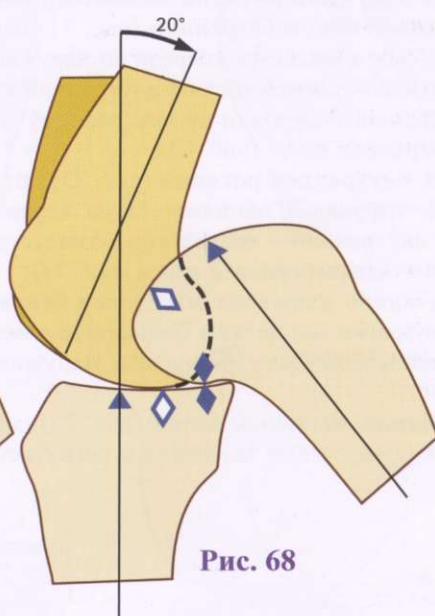


Рис. 68

П. Фрайн (P. Fraim) с соавторами показали, что каждая точка, проходимая мышелками бедра, соответствует, с одной стороны, центру *объединяющего круга*, представляющего собой центр дуги мышелка в этой точке, а с другой – центру пути движения: точке, вокруг ко-

торой бедро поворачивается по отношению к большеберцовой кости. Только когда эти два центра совпадают, происходит чистое скатывание. Отношение скольжения к скатыванию непосредственно зависит от расстояния между описанными двумя центрами.

# Движения мышечков бедра по суставной поверхности большеберцовой кости во время осевой ротации

Позже станет понятно, почему осевая ротация возможна только при согнутом коленном суставе. В **нейтральном для осевой ротации положении** (рис. 69) при полусогнутом коленном суставе задняя часть мышечков бедра находится в контакте со средней частью мышечков большеберцовой кости. Это отчетливо видно на схеме (рис. 70, вид сверху, мышечки бедренной кости наложены на мышечки большеберцовой кости), где контур мышечков бедра наложен на контур мышечков большеберцовой кости. Из этой схемы также ясно, что при сгибании межмышечковые бугорки большеберцовой кости выходят из межмышечковой вырезки бедренной, где они в норме находятся в положении разгибания (это еще один фактор, препятствующий осевой ротации при разгибании).

Во время **наружной ротации большеберцовой кости по отношению к бедренной** (рис. 71) наружный мышечлок бедра движется кпереди по наружному мышечку большеберцовой кости, а внутренний мышечлок бедра перемещается кзади по внутреннему мышечку большеберцовой кости (рис. 72).

Во время **внутренней ротации** (рис. 73) происходит обратное: наружный мышечлок бедра перемещается кзади, а внутренний — кпереди по соответствующим мышечкам большеберцовой кости (рис. 74).

Переднезадние движения мышечков бедра по соответствующим мышечкам большеберцовой кости не одинаковы для внутреннего и наружного мышечков:

- **внутренний мышечлок бедра** (рис. 75) совершает относительно малые движения в вогнутости внут-

ренного мышечка большеберцовой кости I, которая двояковогнута;

- **наружный мышечлок бедра** (рис. 76) проходит почти вдвое большее расстояние L по *выпуклому наружному мышечку большеберцовой кости*. При движениях в переднезаднем направлении он «взбирается» по переднему склону выпуклого мышечка большеберцовой кости, оказывается на «вершине» и затем опускается по заднему склону. Таким образом, мышечлок бедренной кости меняет «высоту» е.

Различия в форме мышечков большеберцовой кости отражаются в конфигурации межмышечковых остей (рис. 77). Горизонтальный срез а этих остей на уровне хх' показывает, что латеральная поверхность наружной ости е выпуклая в переднезаднем направлении (как и наружный мышечлок большеберцовой кости), а медиальная поверхность внутренней ости i вогнутая (как и внутренний мышечлок большеберцовой кости). Добавим к этому то, что видно на фронтальном срезе Б, - внутренняя ость отчетливо выше наружной. В результате этих двух особенностей внутренняя ость является как бы барьером, на который наталкивается внутренний мышечлок бедра, а наружный мышечлок свободно переходит за соответствующую ость. Поэтому **истинная ось осевой ротации уу'** проходит не между двумя остями большеберцовой кости, а **через внутреннюю ость, являющуюся центральным стержнем сустава**. Это смещение «центра» в медиальном направлении находит отражение в большем расстоянии,ходимом наружным мышечком, о чем уже говорилось.



Рис. 71



Рис. 69

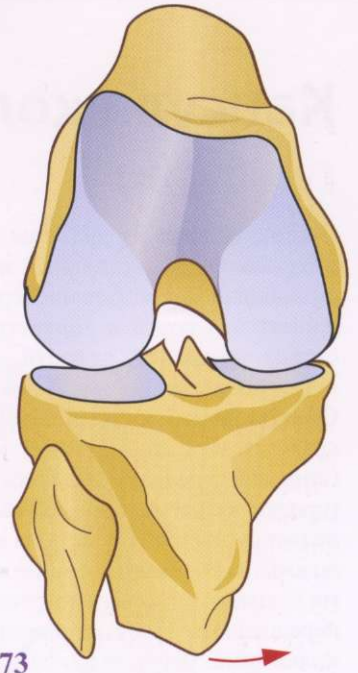


Рис. 73

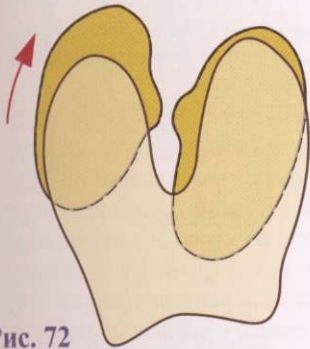


Рис. 72



Рис. 70

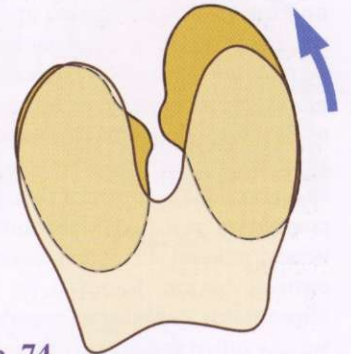


Рис. 74

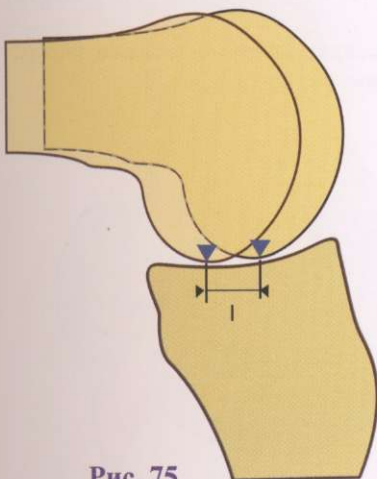


Рис. 75

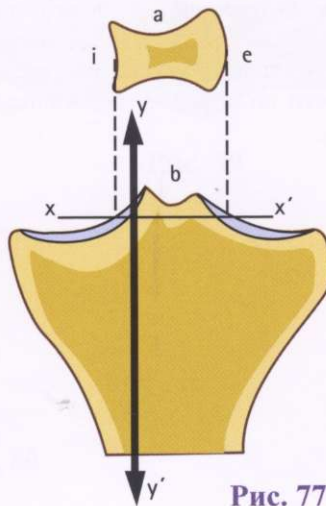


Рис. 77

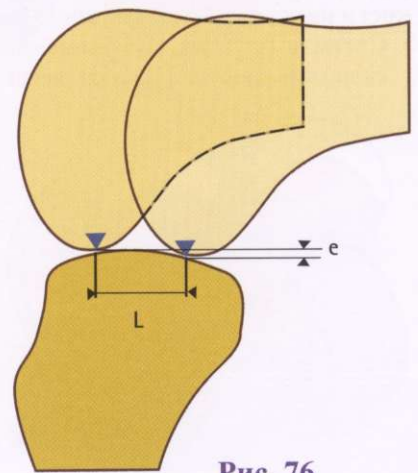


Рис. 76

# Капсула коленного сустава

Суставная капсула является **фиброзным футляром**, покрывающим дистальный конец бедренной и проксимальный конец большеберцовой кости. Она удерживает эти кости в контакте и образует некую стенку суставной полости. Ее внутренняя поверхность покрыта синовиальной оболочкой.

**Общую форму капсулы** (рис. 78) легко понять, если сравнить ее с цилиндром с вогнутой задней стенкой (показано стрелкой). Это приводит к образованию перегородки в сагиттальной плоскости, которая *почти* разделяет суставную полость на *внутреннюю и наружную половины*. Взаимоотношение капсулы с крестообразными связками будет рассмотрено позже (см. стр. 136). На передней поверхности цилиндра имеется *окно* для **надколенника**. Верхний конец цилиндра прикрепляется к бедренной, а нижний — к большеберцовой кости.

**Прикрепление суставной капсулы к большеберцовой кости** относительно простое (рис. 79): к переднему, наружному и внутреннему краям суставной поверхности 1 (зеленая пунктирная линия). Сзади и медиально она переходит в прикрепление задневнутренней крестообразной связки PI к большеберцовой кости. Сзади и латерально - выстилает край наружного мыщелка кзади от ости большеберцовой кости и присоединяется к большеберцовому прикреплению задневнутренней PI и передненаружной AE крестообразных связок. Капсула не проходит между крестообразными связками, *межсвязочный промежуток* 2 между ними заполняется их синовиальной выстилкой, которую можно рассматривать как **утолщение суставной капсулы** в межмыщелковой ямке.

**Прикрепление суставной капсулы к бедренной кости** несколько более сложное (рис. 80-83).

- **Спереди** (рис. 80, вид мыщелков снизу, спереди и снаружи) капсула прикрепляется к кости по краям

надблоковой ямки сверху 7. Здесь капсула образует глубокий карман (рис. 82, 83), известный как надчетырехглавая сумка 5. Ее значение станет ясно позже (см. стр. 106).

- **Медиально и латерально** (рис. 80, 81) капсула прикрепляется по краям блоковой поверхности, образуя латерально-надколенниковые карманы (см. стр. 107), а затем по краям хрящевых поверхностей мыщелков, образуя там *капсульные лестницы Шеврие (Chevrier)* 8. На наружном мыщелке прикрепление капсулы лежит выше прикрепления *подколенного сухожилия* P, которое тем самым становится *интракапсулярным* (см. рис. 80).
- **Сзади и сверху** (рис. 81) капсула прикрепляется вокруг задневерхнего края хрящевой поверхности мыщелков дистальнее прикрепления двух головок икроножной мышцы J. Поэтому капсула выстилает глубокую поверхность этих мышц и отделяет их от мыщелков; в этой области капсула утолщается, образуя структуру, называемую **«мышцелковыми пластинками»** 6 (см. стр. 120).
- В межмыщелковой вырезке (рис. 82, 83; срез бедренной кости сделан в сагиттальной плоскости) капсула прикрепляется к противоположным поверхностям мыщелков вдоль суставного хряща, а затем уходит в глубину вырезки, которую она перекрывает. Она прикрепляется к внутреннему мыщелку (рис. 82), идет *по линии прикрепления задневнутренней крестообразной связки к бедренной кости* 4. Ее прикрепление к наружному мыщелку (рис. 83) лежит *между суставным хрящом и прикреплением передненаружной крестообразной связки к бедренной кости* 3.

Здесь прикрепление крестообразных связок переходит в капсулу, тем самым укрепляя ее.



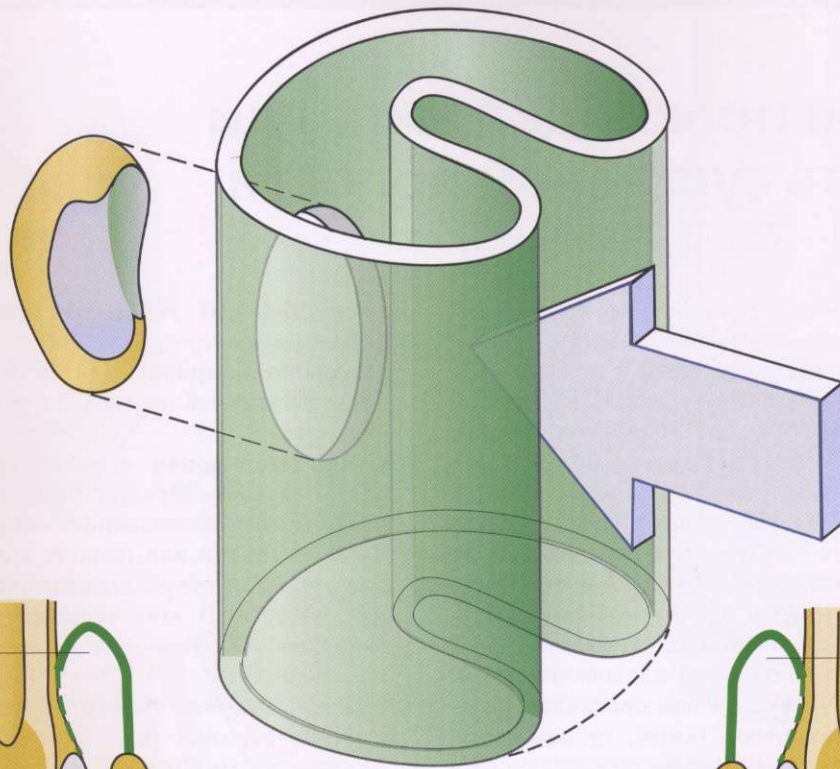


Рис. 78

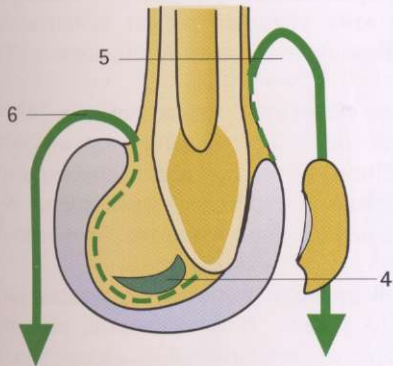


Рис. 82

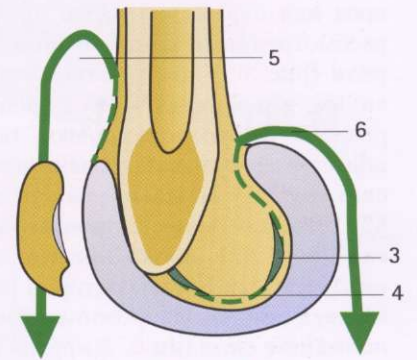


Рис. 83

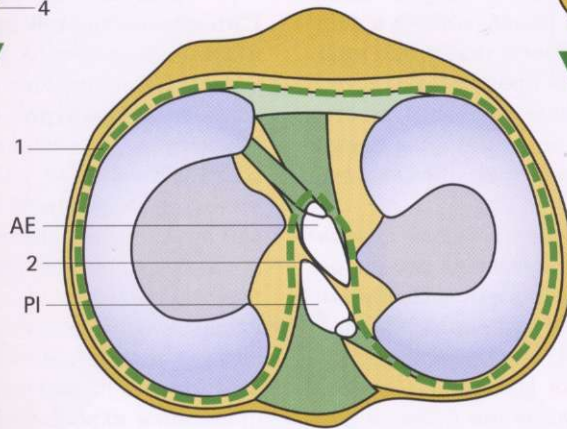


Рис. 79

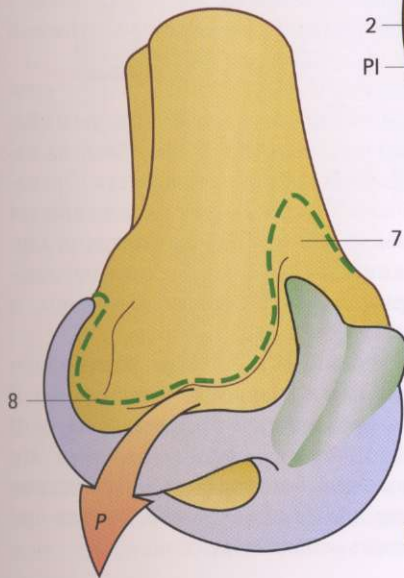


Рис. 80

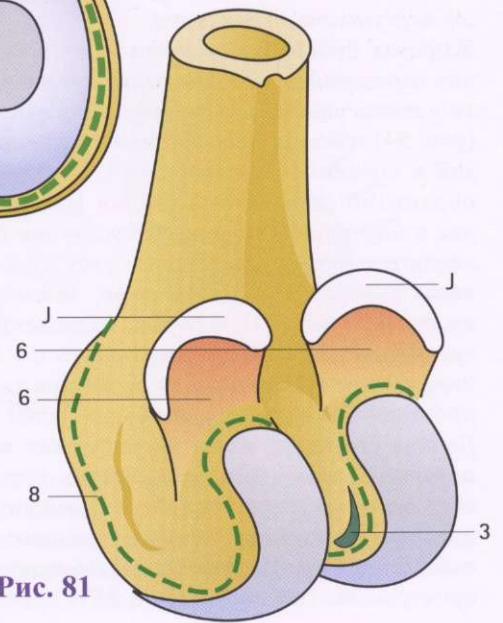


Рис. 81

# Жировая прокладка, складки и емкость суставной полости

*Пустое пространство*, ограниченное предостной поверхностью ямки большеберцовой кости, задней поверхностью связки надколенника и нижней частью блоковой поверхности бедренной кости (рис. 84, вид сзади и изнутри коленного сустава после удаления нижней части бедренной кости), заполнено довольно значительным **слоем жировой ткани 1**. Эта прокладка имеет форму четырехугольной пирамиды с основанием, лежащим на задней поверхности 2 связки надколенника 3 и нависающим над передней частью предостной ямки. При рассмотрении **открытого коленного сустава спереди** (рис. 85) при наклоненном надколеннике мы видим, что верхняя часть жировой прокладки 4 укреплена фиброзно-жировым тяжом, прикрепляющимся к верхушке надколенника и продолжающимся в глубину межмышечковой вырезки (рис. 84 и 85). Этот тяж является **жировой связкой 5**. По бокам (рис. 85) связка продолжается кверху вдоль нижней части боковых сторон надколенника в форме двух складок фиброзно-жировой ткани, это **крыловидные складки 6**. Жировая прокладка действует как рессора в переднем отделе сустава. При сгибании она испытывает давление со стороны связки надколенника и *распространяется по обе стороны от верхушки надколенника*.

Жировая прокладка является вместилищем *срединной перегородки*, которая делит сустав на две полости у плода вплоть до 4 месяцев. У взрослого в норме (рис. 84) имеется *просвет* между жировой прокладкой и срединной перегородкой, образуемой крестообразными складками (**стрелка I**). Поэтому наружная и внутренняя половины суставной полости сочленяются между собой через этот просвет, а также через *свободное пространство, лежащее над прокладкой (стрелка II)* и глубже надколенника. Иногда срединная перегородка сохраняется и у взрослого, в этом случае коммуникация возможна только за счет пространства выше жировой прокладки.

Данная структура известна также как **инфрапателлярная складка**. Система складок состоит из трех синовиальных карманов (рис. 89, вид внутренней половины коленного сустава, разрезанного в сагиттальной плоскости), которые переменны, но весьма распространены (наблюдаются в 85% случаев согласно

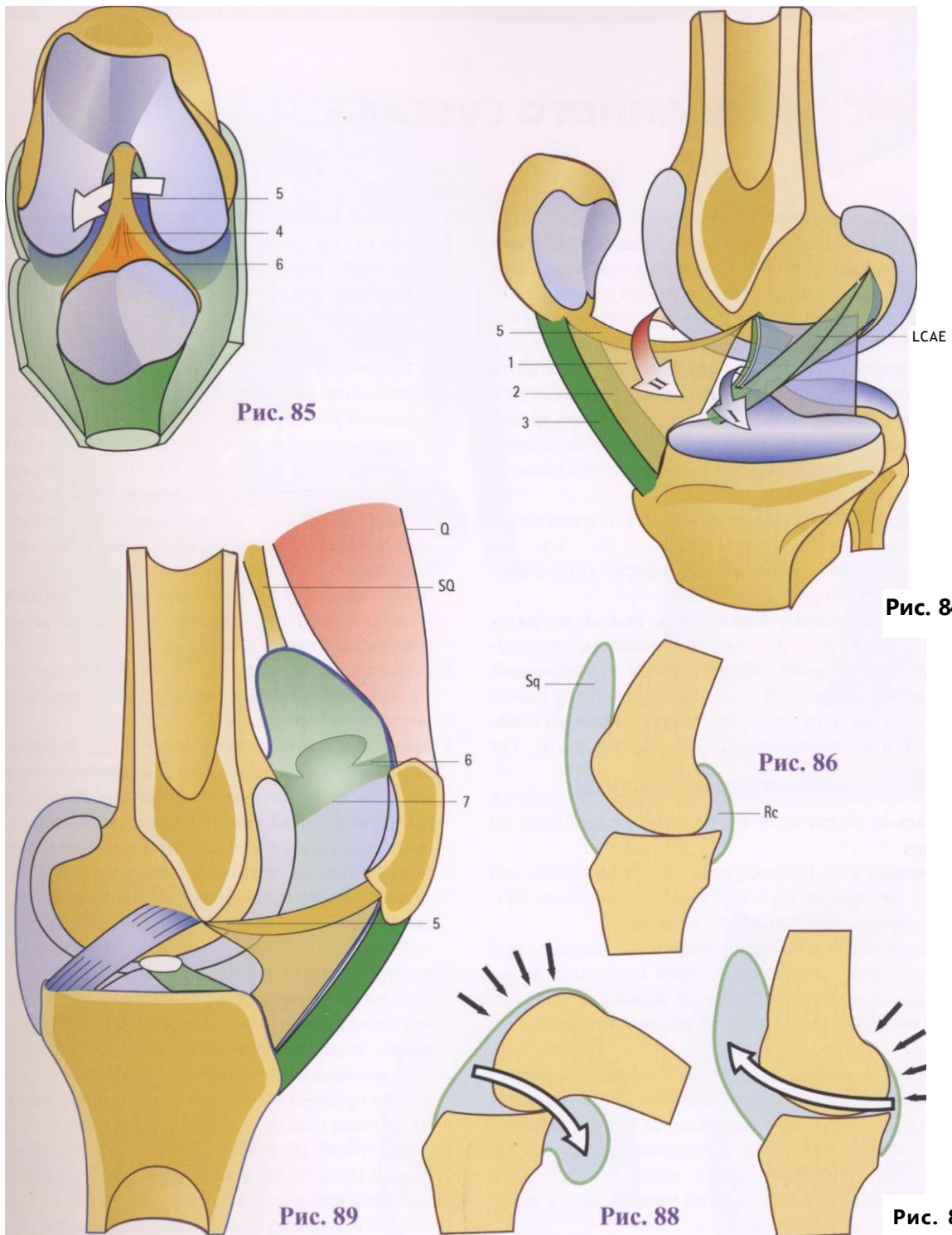
Дюпону (Dupont)). Эти складки сейчас хорошо известны благодаря артроскопии:

- **Инфрапателлярная складка 5** простирается за пределы жировой прокладки и встречается в 65,5% случаев.
- **Супрапателлярная складка 6**, наблюдаемая в 55,5% случаев, образует горизонтальную перегородку выше надколенника. Перегородка может быть частичной или полной, в последнем случае она изолирует супрапателлярную сумку от суставной полости. В этих условиях может появиться гидрартроз - образование жидкой опухоли над надколенником.
- **Межпателлярная складка 7**, наблюдаемая в 24% случаев, образует неполную перегородку между бедром и надколенником, по типу полки. Она может вызывать боли, когда ее свободный край трется о медиальный край внутреннего мыщелка. Артроскопическая резекция эти боли снимает.

**Емкость суставной полости** разнится в нормальных и патологических условиях. Патологический выпот может быть представлен синовиальной жидкостью, тогда это **гидрартроз**, или кровью, тогда имеет место **гемартроз**. Этот выпот существенно увеличивает емкость сустава (рис. 86), если жидкость скапливается *постепенно*. Жидкость собирается в надчетырёхглавой сумке Sq, в парапателлярных карманах и сзади в позадымышечковой сумке Rc глубже «мышечковой пластинки».

Распределение жидкости в суставной полости *зависит от положения коленного сустава*. При **разгибании** (рис. 87) позадымышечковая сумка сдавлена напряжением икроножной мышцы, и жидкость перемещается кпереди (**белая стрелка**), где она скапливается в надчетырёхглавой сумке и в парапателлярных карманах. При **сгибании** (рис. 88) компрессия происходит за счет напряжения четырёхглавой мышцы, и жидкость перемещается кзади (**белая стрелка**).

Между полным сгибанием и полным разгибанием имеется **положение так называемой максимальной емкости** (рис. 86), при котором жидкость в полости находится в состоянии *наименьшего натяжения*. Это полусогнутое положение, которое обычно принимают больные с выпотом в коленном суставе, так как при этом они испытывают *наименьшие боли*.



В норме количество синовиальной жидкости очень невелико - всего лишь несколько см<sup>3</sup>. Однако благодаря сгибанию/разгибанию суставные поверхности постоянно *омываются* свежей синовиальной жидкостью, что способствует *полноценному питанию* сус-

тавного хряща и *смазыванию* контактирующих суставных поверхностей.

Обратите внимание на схеме на четырехглавую мышцу Q и на суставную мышцу колена SQ, которые натягивают надчетырехглавый карман.

# Мениски коленного сустава

Отсутствие конгруэнтности суставных поверхностей (см. стр. 102) компенсируется наличием **менисков или полулунных хрящей**, названных так за их форму (рис. 90). Если сферу S положить на плоскость P, то контакт по отношению к шару будет только по касательной. Чтобы увеличить площадь контакта, достаточно проложить между ними *кольцо*, соответствующее пространству, ограниченному шаром, плоскостью P и цилиндром C, прилежащим к шару. Оранжевое кольцо 3 точно воспроизводит форму мениска - треугольную на поперечном срезе с тремя поверхностями:

- *внутренняя или осевая поверхность* 1, в контакте со сферой;
- *периферическая поверхность* 2, в форме цилиндра;
- *нижняя поверхность* 4, плоская.

Посмотрим на **систему менисков и связок в «разобранном» виде** (рис. 91): мениски подняты над мышечками. **Внутренний мышелок Mi** и **наружный мышелок Me** бедренной кости расположены в одной горизонтальной плоскости, над **внутренним Gi** и **наружным Ge** мышечками большеберцовой кости. Тут выделяются:

- *верхняя поверхность* 1 вогнутая, она контактирует с мышечками бедренной кости, не показанными на рисунке;
- *периферическая поверхность* 2 цилиндрической формы, она прилежит к глубокой поверхности капсулы (синего цвета на заднем плане);
- *нижняя поверхность* 3 не видна на рисунке, она почти плоская, опирается на края мышечков большеберцовой кости, разделенных межмышечковыми бугорками. Внутренний бугорок хорошо виден на рисунке.

Поскольку эти кольца неполные, в области **межмышечковых бугорков** большеберцовой кости они имеют форму полукружий с *передним и задним рогами*. Рога наружного мениска ближе подходят друг к другу, так что этот мениск образует почти полный круг (в форме буквы O), а внутренний мениск имеет полулунную или C-образную форму.

Мениски имеют **важные с точки зрения функции прикрепления:**

- на фронтальном срезе коленного сустава (рис. 93) мениски показаны в разрезе, красного цвета, и мы видим прикрепление капсулы с к периферической поверхности менисков;

- передние рога менисков крепятся к большеберцовому плато, на уровне *преспинальной поверхности*, задние рога - *ретроспинальной поверхности* (рис. 91);
  - передний рог наружного мениска 4 прикрепляется непосредственно спереди от наружного межмышечкового бугорка;
  - задний рог наружного мениска 5 - непосредственно позади наружного межмышечкового бугорка;
  - задний рог внутреннего мениска 7 - к задневнутреннему углу ретроспинальной поверхности;
  - передний рог внутреннего мениска 6 - к передневнутреннему углу преспинальной поверхности;
  - два передних рога соединены **поперечной связкой коленного сустава** 8, которая крепится к надколеннику тяжами жировой прокладки;
  - фиброзные тяжи идут от наружных краев надколенника R к наружным краям каждого мениска, образуя мениско-надколенные волокна 9;
  - внутренняя латеральная связка LLI крепится своими наиболее задними тяжами 2 к внутреннему краю внутреннего мениска;
  - наружная латеральная связка LLE, в противовес внутренней, *отделена от соответствующего ей мениска* подколенным сухожилием **Pop**, посылающим **фиброзный тяж** 10 к заднему краю наружного мениска, образуя тем самым то, что некоторые называют **точкой задненаружного угла PARE**;
  - **сухожилие полумембранной мышцы** 11 также посылает фиброзный тяж к заднему краю внутреннего мениска, что образует симметричную **точку задневнутреннего угла PARI**;
  - отдельные волокна задневнутренней крестообразной связки прикрепляются к заднему рогу наружного мениска, образуя **мениско-бедренную связку** 12; несколько волокон передненаружной крестообразной связки прикрепляются к переднему рогу внутреннего мениска (см. рис. 166, описание 5, стр. 135).
- Фронтальный (рис. 93), а также внутренний сагитальный (рис. 94) и латеральный (рис. 95) срезы показывают, как мениски располагаются между мышечками большеберцовой и бедренной костей, за исключением центра каждого мышечка большеберцовой кости и области межмышечковых бугорков, как они связаны с надколенником мениско-надколенными волокнами 9 и с капсулой с, а также как мениски *делят сустав на два отдела* — **надменисковый** и **подменисковый** (рис. 93).

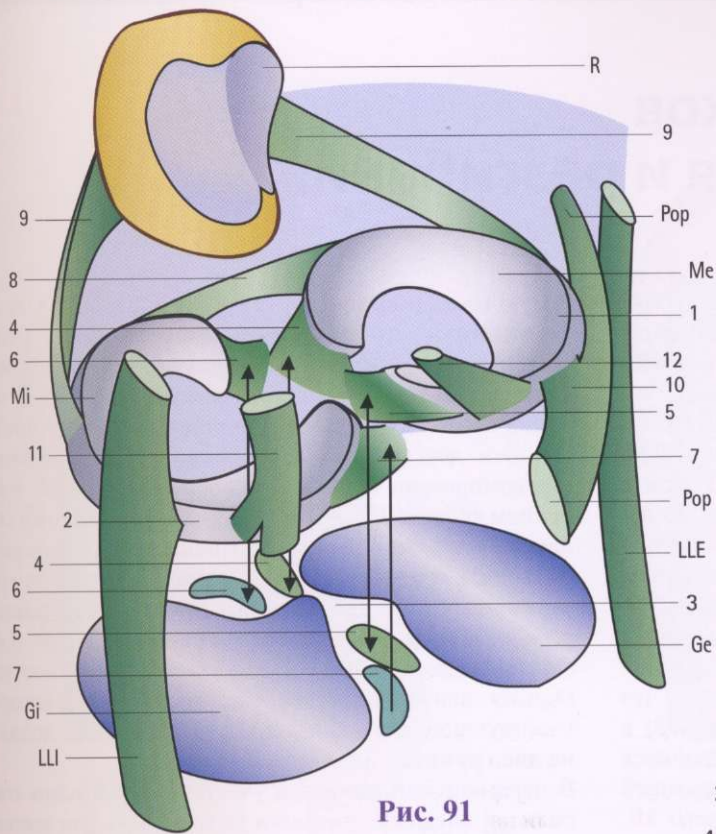


Рис. 91



Рис. 92

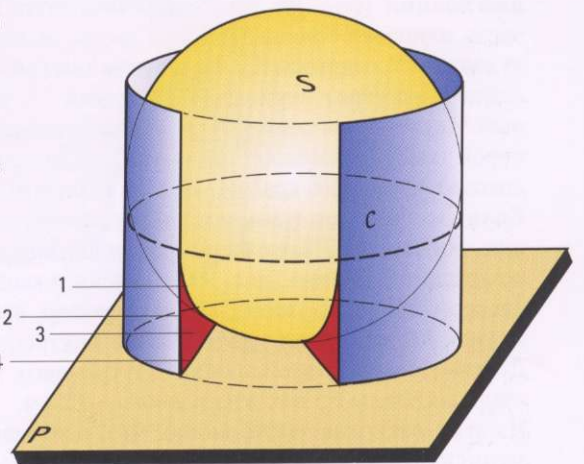


Рис. 90

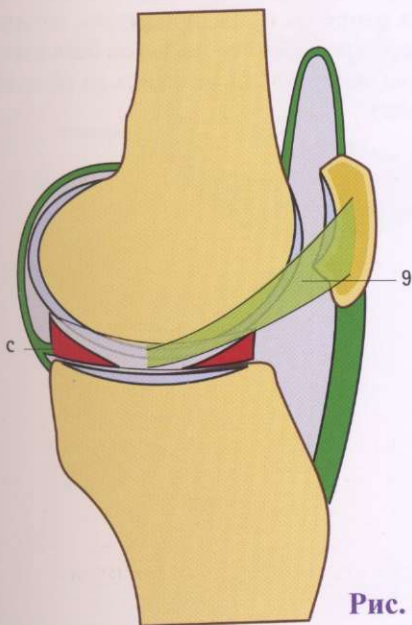


Рис. 94

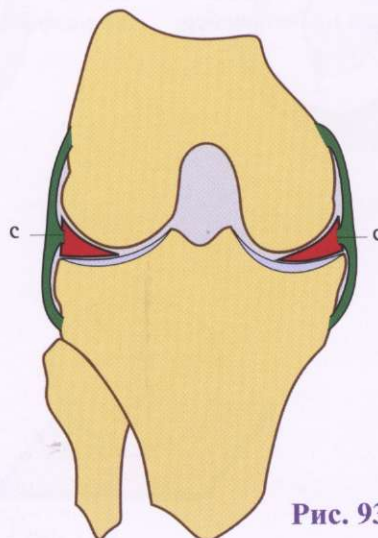


Рис. 93

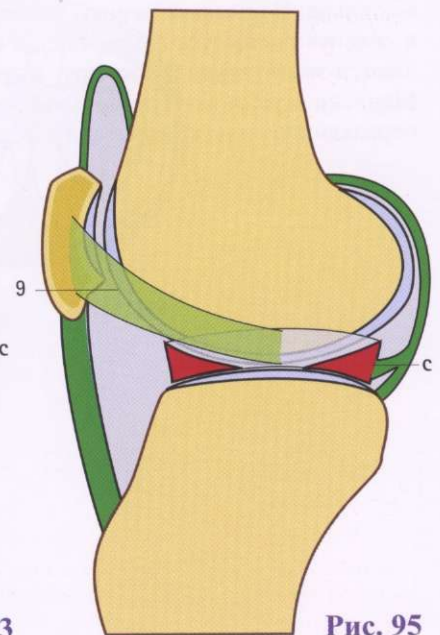


Рис. 95

# Движения менисков во время сгибания и разгибания

Как было сказано ранее, точка контакта между мыщелками бедренной и большеберцовой костей перемещается кзади при сгибании и кпереди при разгибании. Мениски следуют за этими движениями, что можно легко продемонстрировать на анатомическом препарате, имеющем только связки и мениски. **При разгибании** (рис. 96, вид сзади и изнутри) задняя часть мыщелка большеберцовой кости, особенно наружного Ge, открывается. **При сгибании** (рис. 97, вид сзади и изнутри) мениски (внутренний **Мi** и наружный **Me**) лежат на задней части мыщелков большеберцовой кости и *особенно наружный мениск*, который доходит до заднего края наружного мыщелка.

**Если смотреть на мениски сверху**, станет ясно, что при движении из положения разгибания (рис. 98) в положение сгибания (рис. 99) мениски, находящиеся впереди, отступают назад, но неодинаково: наружный мениск **Me** отступает вдвое дальше внутреннего **Мi**. Действительно, перемещение внутреннего мениска кзади составляет 6 мм, а наружного - 12 мм.

Из этих рисунков также видно, что, отступая назад, **мениски деформируются**. Это происходит из-за того, что они имеют **две фиксированные точки** - передний и задний рога, а остальная структура полностью мобильна. Наружный мениск деформируется больше и сильнее смещается кзади, так как его рога прикрепляются значительно ближе друг к другу.

Мениски играют важную роль как эластичные детали, передающие силы компрессии с бедра на большебер-

цовую кость (**черные стрелки**, рис. 101, 102). Следует отметить, что **при разгибании** мыщелки бедра описывают дугу большого радиуса по сравнению с мыщелками большеберцовой кости (рис. 100), и мениски плотно входят между суставными поверхностями. Эти два фактора способствуют распределению сил компрессии в процессе полного разгибания в коленном суставе. С другой стороны, **при сгибании** мыщелки бедра описывают дугу с наименьшим радиусом (рис. 103), и мениски лишь частично приходят в контакт с ними (рис. 105). Эти два фактора в сочетании с расслаблением коллатеральных связок (*см. стр. 146*) *способствуют мобильности* в ущерб стабильности. Описав движения менисков, рассмотрим факторы, участвующие в их движениях. Эти факторы делятся на **две группы** - активные и пассивные.

**В перемещении менисков участвует лишь один пассивный элемент: мыщелки бедренной кости выталкивают мениски кпереди**, как мы выталкиваем косточку из вишни, зажав ее между двумя пальцами. Такой упрощенный нами механизм станет понятным при изучении анатомических препаратов, где перерезаны все прикрепления менисков за исключением рогов (рис. 96, 97). Эти поверхности скользкие, и «клин» мениска выталкивается кпереди между «колесом», каковым является мыщелок бедра, и «землей», которую в нашем примере представляет мыщелок большеберцовой кости (как запирающий механизм он абсолютно неэффективен).

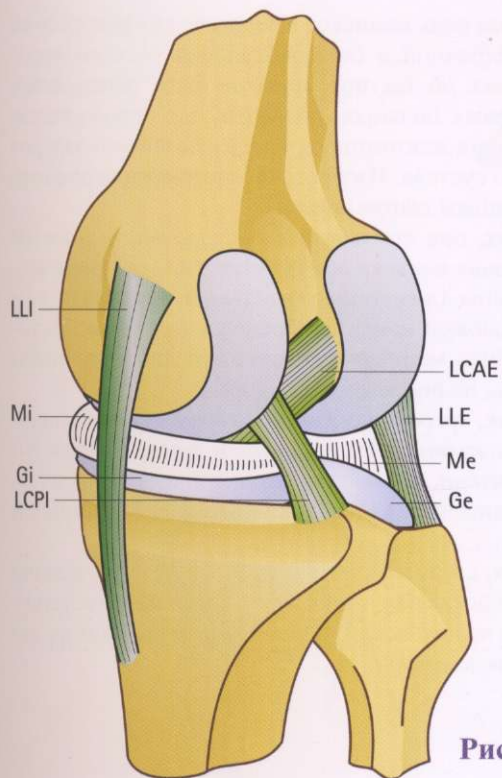


Рис. 96

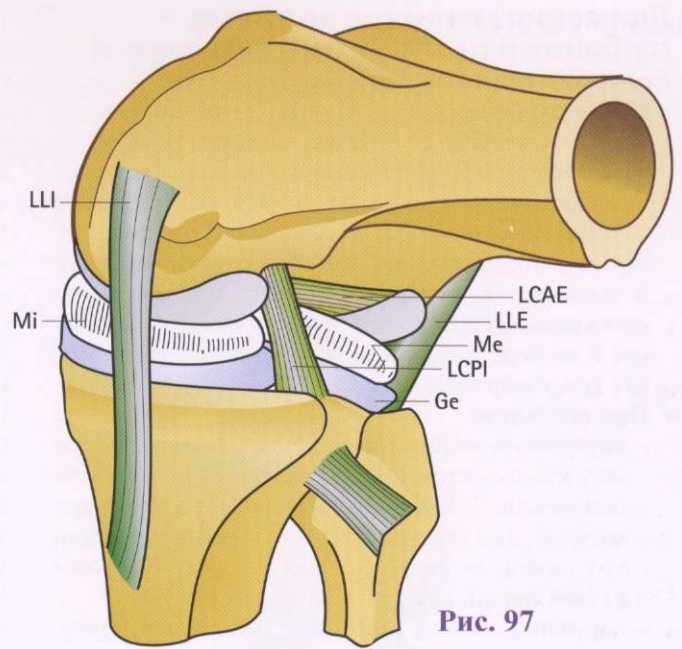


Рис. 97

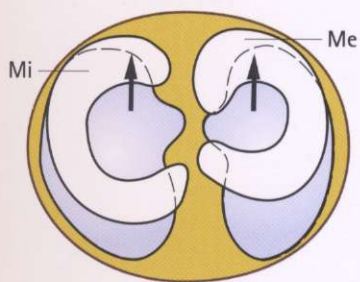


Рис. 98

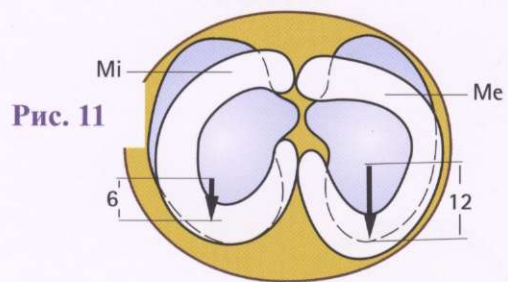


Рис. 11

Рис. 99

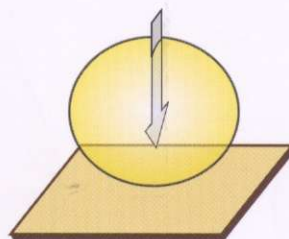


Рис. 100

## **Движения менисков во время сгибания и разгибания (продолжение)**

Активные элементы многочисленны.

- **При разгибании** (рис. 101, 102) мениски испытывают тягу кпереди со стороны *мениско-надколенниковых волокон* 1, растягивающихся при перемещении надколенника кпереди (см. стр. 123), при этом осуществляется тяга поперечной связки кпереди. Кроме того, задний рог наружного мениска также испытывает тягу кпереди (рис. 102) под действием натяжения, развиваемого *мениско-бедренной связкой* 2 по мере того, как натягивается задне-внутренняя крестообразная связка (см. стр. 145).
- **При сгибании:**
  - внутренний мениск (рис. 104) испытывает на себе тягу кзади со стороны сухожилия полумембранозной мышцы 3, которое прикрепляется к его заднему краю, а на передний рог действует тяга кпереди со стороны волокон передненаружной крестообразной связки, прикрепляющейся к нему 4;
  - наружный мениск (рис. 105) тянет кзади подколенная мышца 5.

Важнейшая роль менисков в передаче сил компрессии между бедренной и большеберцовой костями недооценивалась до тех пор, пока не было обнаружено, что у первых больных, подвергнутых «профилактической» менискэктомии, развился ранний остеоартроз коленного сустава. Изобретение артроскопии явилось существенным шагом вперед.

Во-первых, она *позволяет верифицировать наличие повреждения мениска* при нечеткости артрографической картины (ложноположительный результат), тем самым положен конец необоснованным менискэктомиям (иногда мениски удаляли лишь для того, чтобы проверить, не повреждены ли они!).

Во-вторых, артроскопия *сделала возможной частичную менискэктомию с удалением только пораженного сегмента*, являющегося механическим препятствием движению или травмирующего суставной хрящ.

В-третьих, стало ясно, что обнаружение повреждения мениска составляет лишь часть диагноза, *поскольку нередко в основе повреждения мениска или хряща лежит травма связок*.



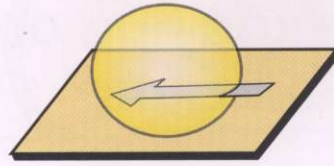


Рис. 103

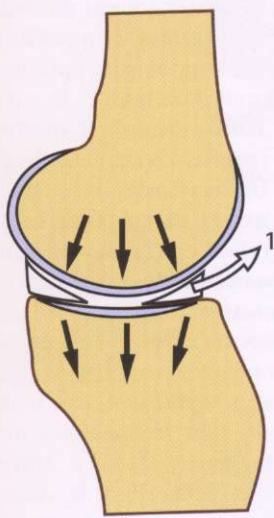


Рис. 101

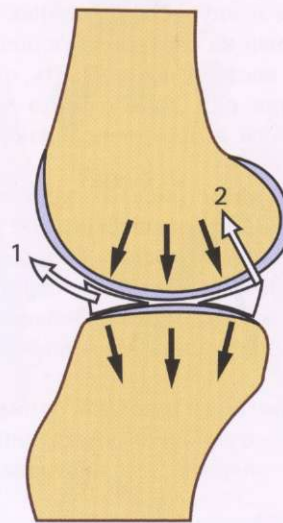


Рис. 102

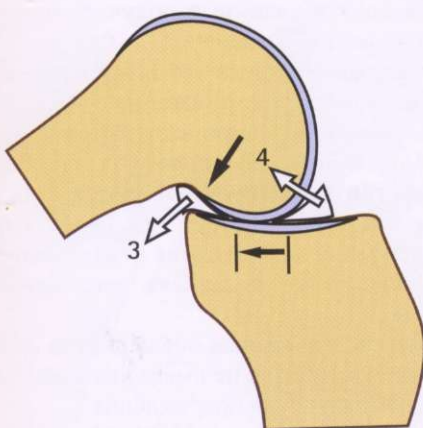


Рис. 104

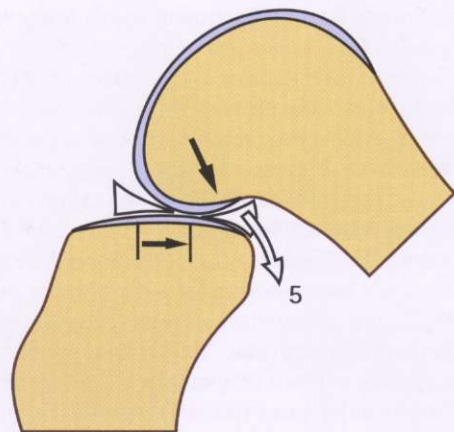


Рис. 105

# Движения менисков при осевой ротации

## Повреждения менисков

При осевой ротации мениски точно следуют за движениями мыщелков бедра (см. стр. 113). В **положении нулевой ротации** (рис. 106, схематическое изображение плато правой большеберцовой кости) наружный мениск **Ме** и внутренний мениск **Ми** четко центрированы каждый на соответствующем мыщелке большеберцовой кости. Можно видеть, что из нейтрального положения они движутся по мыщелкам большеберцовой кости в противоположном направлении:

- **при наружной ротации** (рис. 107, красная стрелка показывает ротацию большеберцовой кости под мыщелками бедренной кости) большеберцовой кости наружный мениск **Ме** подтягивается к *передней части* 1 наружного мыщелка большеберцовой кости, а внутренний мениск **Ми** - *подтягивается кзади* 2;
- **при внутренней ротации** (рис. 108, синяя стрелка показывает обратную ротацию) внутренний мениск **Ми** перемещается *кпереди* 3, а наружный мениск **Ме** - *кзади* 4.

При этих перемещениях мениски **деформируются** по отношению к их фиксированным точкам, т.е. в области прикрепления рогов. *Общая амплитуда движений наружного мениска вдвое больше, чем внутреннего.*

Описанные перемещения менисков при осевой ротации в основном *пассивны* и происходят под влиянием тяги со стороны мыщелков бедра, но существует и активный механизм. *Мениско-надколенниковые волокна натягиваются* в результате движений надколенника по отношению к большеберцовой кости (см. стр. 121) и тянут один из менисков кпереди.

При движениях в коленном суставе может произойти травма менисков, если они не будут следовать за перемещением мыщелков бедренной кости по мыщелкам большеберцовой. В этом случае они оказываются как бы застигнутыми «врасплах» и попадают в ненормальное положение, оказавшись «между молотом и наковальней». Например, подобное случается *при резком разгибании коленного сустава* (удар по футбольному мячу), при этом один из менисков не успевает переместиться вперед (рис. 109) и оказывается зажатым между мыщелками бедренной и большеберцовой костей (**двойная белая стрелка**), причем большебер-

цовая кость сильно давит на бедренную. Этот механизм, типичный для футболистов (рис. 116), приводит к **поперечным разрывам а** (рис. 114) или к **отрыву переднего рога Б**, который заворачивается.

Другой механизм, вызывающий повреждения менисков, сопряжен с **крутящим движением в коленном суставе** (рис. 110), которое сочетает латеральное смещение 1 с наружной ротацией 2. В этом случае внутренний мениск подтягивается к центру сустава под выпуклость внутреннего мыщелка бедра. Когда колесо разгибается, он оказывается «застигнутым врасплах» и зажатым между мыщелками бедренной и большеберцовой костей со следующими возможными последствиями: **продольным повреждением мениска** (рис. 111), **полным отрывом мениска от капсулы** (рис. 112) или **сложным разрывом мениска** (рис. 113). При всех этих продольных повреждениях центральная свободная часть мениска может попасть в межмыщелковую вырезку, при этом мениск **повреждается в форме «ручки лейки»** (рис. 111). Этот тип повреждения очень часто встречается у футболистов (вследствие падения на согнутую ногу) и у шахтеров (рис. 117), которые вынуждены работать на корточках в низких и тесных угольных забоях.

Еще одной причиной повреждения мениска может быть **разрыв крестообразной связки**, в частности передненаружной (рис. 115). При этом внутренний мыщелок большеберцовой кости уже не удерживается в своем заднем положении и «ущемляет» задний рог внутреннего мениска, который отрывается в месте прикрепления к капсуле и получает горизонтальное повреждение (см. вставку).

После разрыва мениска его поврежденная часть не может следовать за нормальными движениями в коленном суставе и вклинивается между мыщелками бедренной и большеберцовой костей. В результате этого **сустав блокируется** в положении сгибания, причем эта блокада будет тем более выраженной, чем более кзади локализуется повреждение, и *полное разгибание, даже пассивное, оказывается невозможным.*

Важно знать, что мениск очень скудно кровоснабжается и, следовательно, не имеет никакой возможности восстановиться после повреждения.

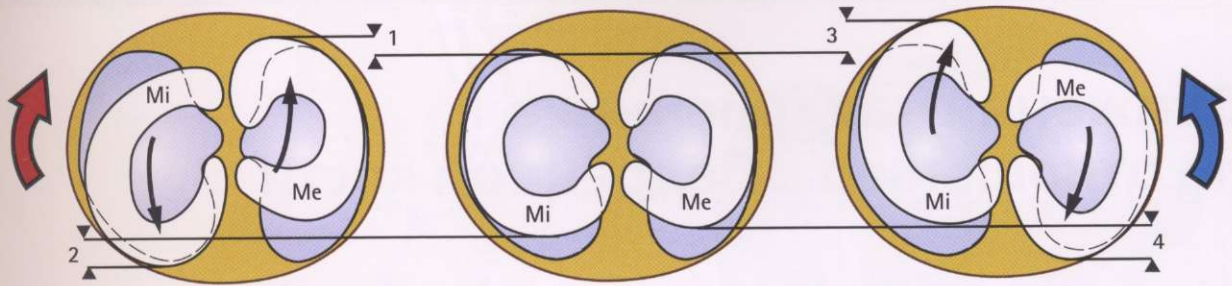


Рис. 107

Рис. 106

Рис. 108



Рис. 117



Рис. 116

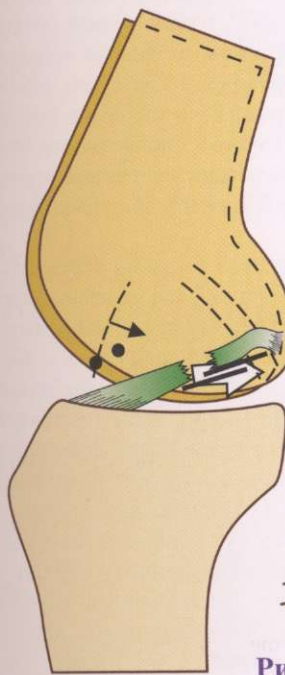


Рис. 115

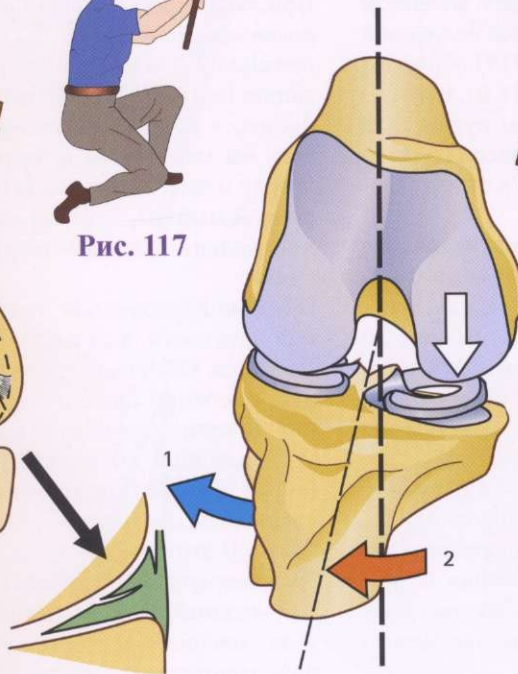


Рис. 110

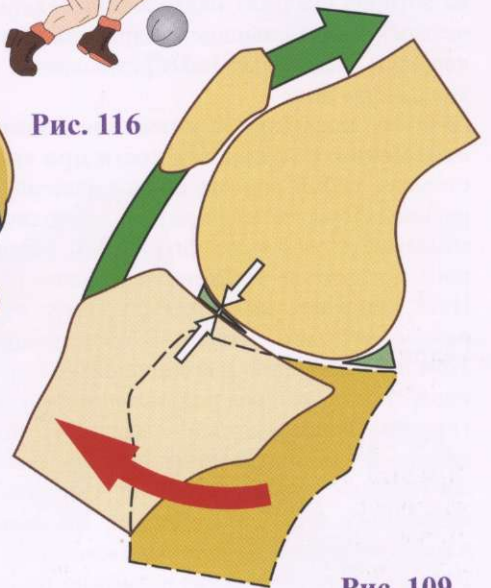


Рис. 109



Рис. 111



Рис. 112



Рис. 113

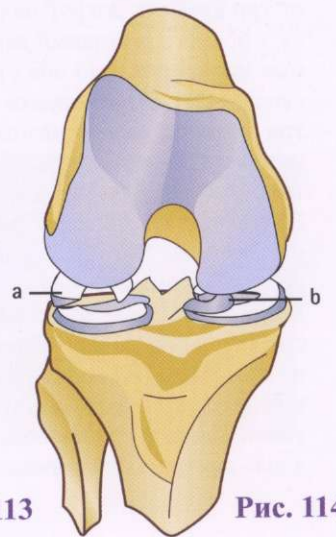


Рис. 114

# Движения надколенника по отношению к бедренной кости

Разгибательный аппарат коленного сустава скользит по нижнему концу бедра, как **веревка, продетая через блок** (рис. 118 а), при одной разнице - в коленном суставе блок неподвижен (рис. 118 б). Блок бедренной кости и межмышцелковая вырезка (рис. 119) образуют глубокую вертикальную борозду (рис. 118 б), в глубине которой скользит надколенник. Таким путем сила четырехглавой мышцы бедра, направленная косо вверх и слегка кнаружи, превращается в строго вертикальную силу.

Поэтому **нормальное движение надколенника по отношению к бедренной кости при сгибании** представляет собой вертикальное смещение вдоль центральной борозды на блоковой поверхности бедра до межмышцелковой вырезки (рис. 120, основой для которого послужили рентгенологические исследования). Итак, надколенник движется книзу на расстояние, равное двум его длинам (8 см), поворачиваясь при этом по отношению к его поперечной оси. Его задняя поверхность, которая в положении разгибания ориентирована непосредственно кзади А, поворачивается вверх, когда надколенник в конце движения В при достижении полного сгибания оказывается под мышцами бедра. Таким образом, это движение можно назвать *перемещением по окружности*.

Это важное перемещение возможно только тогда, когда **надколенник прикрепляется к бедренной кости соединениями достаточной длины**. Капсула образует три кармана вокруг надколенника (рис. 120): сверху - подчетырёхглавый карман **Sq** и латеро-надколенные карманы **Lg** по обе стороны. Когда надколенник скользит под мышцами из точки А в точку В, эти три кармана расплетаются, и расстояние XX' становится расстоянием XX'' (увеличиваясь вчетверо) только лишь благодаря подчетырёхглавому карману. Подобным же образом расстояние YY' может стать расстоянием YY'' (вдвое большим) из-за длины латеро-надколенных карманов.

Когда вследствие воспаления в карманах образуются спайки, происходит облитерация этих полостей, и **надколенник оказывается плотно фиксированным к бедренной кости**, расстояния XX' и YY' перестают увеличиваться, и надколенник больше не скользит вдоль центральной борозды. Это одна из причин пост-

травматической или постинфекционной **тугоподвижности коленного сустава**.

При движении надколенника вниз за ним следует жировая *прокладка* (рис. 121), которая переходит из положения ZZ' в положение ZZ'', изменяя свою ориентацию на 180°. При смещении надколенника вверх в процессе разгибания подчетырёхглавая сумка оказалась бы между ним и бедром, если бы ее не тянули вверх некоторые волокна глубокой поверхности бедренной мышцы, которые называют **суставной мышцей колена Msc** или напрягатель подчетырёхглавой сумки.

В норме надколенник движется только в вертикальной плоскости, а не в поперечной. Он надежно удерживается в борозде (рис. 122) четырехглавой мышцей, особенно сильно - по мере увеличения сгибания. К концу разгибания (рис. 123) сила воздействия этой мышцы ослабевает, а при гиперэкстензии (рис. 124) наблюдается даже ее обратное действие с некоторым *отстоянием надколенника* от бедренной кости. В этот момент (рис. 125) надколенник *смещается латерально*, поскольку сухожилие четырехглавой мышцы и общая связка надколенника образуют *угол, открытый кнаружи*. Латеральному вывиху надколенника препятствует латеральная губа надколенной поверхности бедра (рис. 126), значительно более развитая, чем внутренняя (разница = е). Если в результате врожденной деформации (рис. 127) *наружная губа оказывается недоразвитой* (например, *равной внутренней губе или меньшей, чем она, по размеру*), надколенник перестает удерживаться и вывихивается латерально при полном разгибании. Этот механизм лежит в основе **рецидивирующего вывиха надколенника**.

При наружной ротации большеберцовой кости по отношению к бедренной и при genu valgum угол между сухожилием четырехглавой мышцы и связкой надколенника уменьшается, при этом увеличивается латеральный вектор силы, что *способствует боковой нестабильности надколенника*. Таким путем создаются условия, способствующие боковым вывихам и подвывихам, развитию хондромалиции надколенника и остеоартроза наружного отдела бедренно-надколенного сочленения.

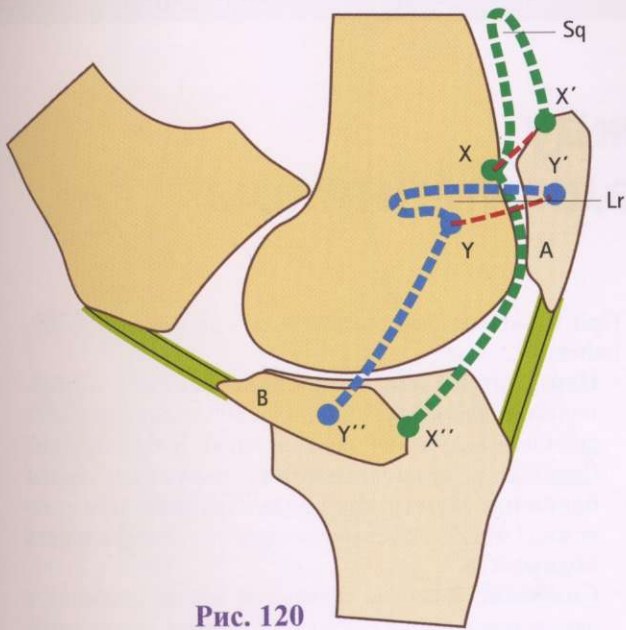


Рис. 120

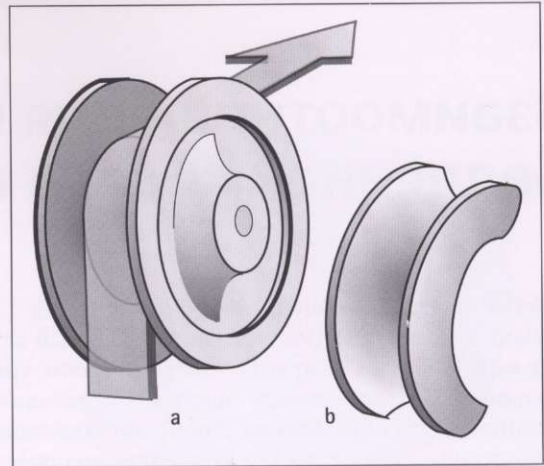


Рис. 118

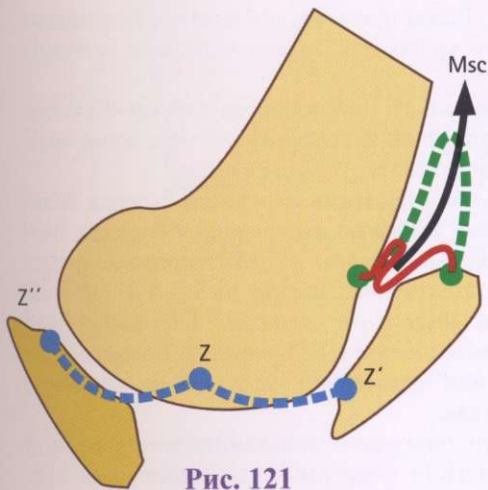


Рис. 121

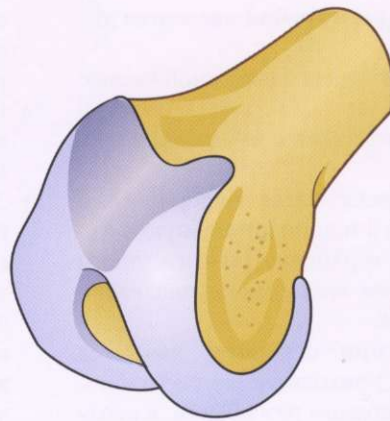


Рис. 119

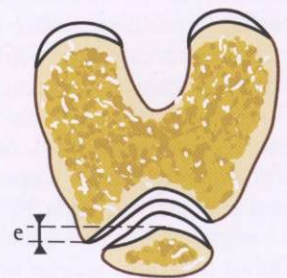


Рис. 126

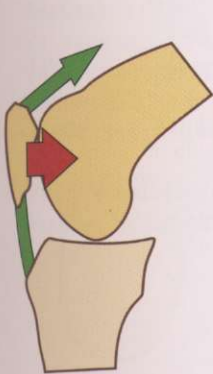


Рис. 122

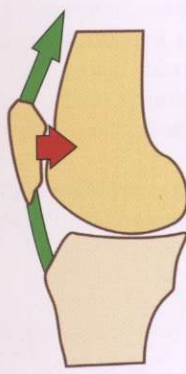


Рис. 123

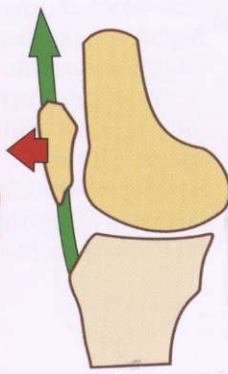


Рис. 124

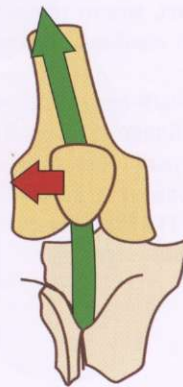


Рис. 125

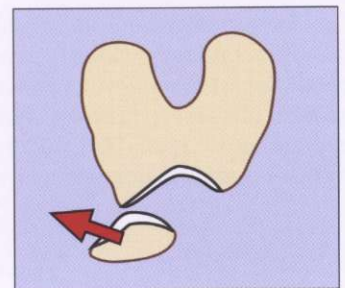


Рис. 127

# Взаимоотношения между бедренной костью и надколенником

**Задняя часть надколенника** (рис. 128, вид сзади правого надколенника) и особенно срединный вертикальный гребень **1** покрыты **толстым слоем хряща** (толщиной 4-5 мм) - самым толстым из имеющихся в организме. Это обусловлено огромным давлением на надколенник (300 кг и даже более при поднятии тяжестей), когда четырехглавая мышца сокращается при согнутом коленном суставе, например при ходьбе вниз по лестнице или при переходе к вертикальному положению из положения на корточках. Можно себе представить нагрузку на надколенник у штангистов, поднимающих по 120 кг!

По обе стороны от **срединного гребня** находятся **две двояковогнутые фасетки**:

- **наружная фасетка 2**, связанная с наружной частью блока,
- **внутренняя фасетка**, связанная с внутренней частью блока.

Внутренняя фасетка подразделяется малоразвитым косым гребнем на главную 3 и дополнительную 4 фасетки, последняя лежит у верхневнутреннего угла и соприкасается с внутренним краем межмьщелковой ямки *при крайнем сгибании*.

Поскольку надколенник **при сгибании** движется вдоль блока (рис. 129), он приходит в контакт с блоком в нижней части 1 при полном разгибании, в центральной части 2 - при 30° сгибания, в верхней части 3 и с верхненаружной фасеткой - при полном сгибании. Таким образом, можно определить *критический угол сгибания*, исходя из топографии повреждений суставного хряща, и, наоборот, предугадать место повреждения, определив *угол, при котором сгибание становится болезненным*.

До сих пор бедренно-надколенниковый сустав изучали с помощью аксиальных снимков надколенника или томографии коленного сустава. Каждый снимок показывает оба надколенника при сгибании в коленном суставе на 30° (рис. 130), 60° (рис. 131) и 90° (рис. 132), чтобы позволить полную визуализацию сустава.

При изучении этих снимков можно увидеть следующее:

- **Центральное положение надколенника**, особенно на снимке при сгибании на 30°, характеризуется сцеплением гребня надколенника и блоковидной борозды и **нависанием над наружным краем блока наружного края надколенника**. При сравнении можно поставить диагноз **латерального подвывиха**.
- **Снижение высоты суставной щели**, особенно в латеральной части сустава, на снимке можно измерить и сравнить с сохранным противоположным суставом. Таким путем можно выявить разрушение суставного хряща при далеко зашедшем остеоартрозе.
- **Субхондральный остеосклероз** наружной суставной фасетки, свидетельствующий о наличии чрезмерной нагрузки на эту часть сустава.
- **Латеральное смещение переднего бугорка большеберцовой кости** по отношению к бороздке блока, наблюдаемое только на рентгенограммах, сделанных в положении сгибания на 30° и на 60°, указывает на *наружную ротацию* большеберцовой кости по отношению к бедренной, вызванную подвывихом или чрезмерной нагрузкой на наружную часть сустава.

В наши дни благодаря появлению компьютерной томографии (КТ) бедренно-надколенниковый сустав можно исследовать в положении полного разгибания и даже гиперэкстензии, что с помощью простой рентгенографии невозможно. КТ показывает боковой подвывих надколенника в положениях, где сила взаимодействия суставных поверхностей нулевая и даже отрицательная, т.е. теперь возможна диагностика **минимальных степеней нестабильности сустава**.

**Артроскопия** позволяет выявить *динамический дисбаланс и повреждения хряща*, не видные на аксиальных рентгенограммах.

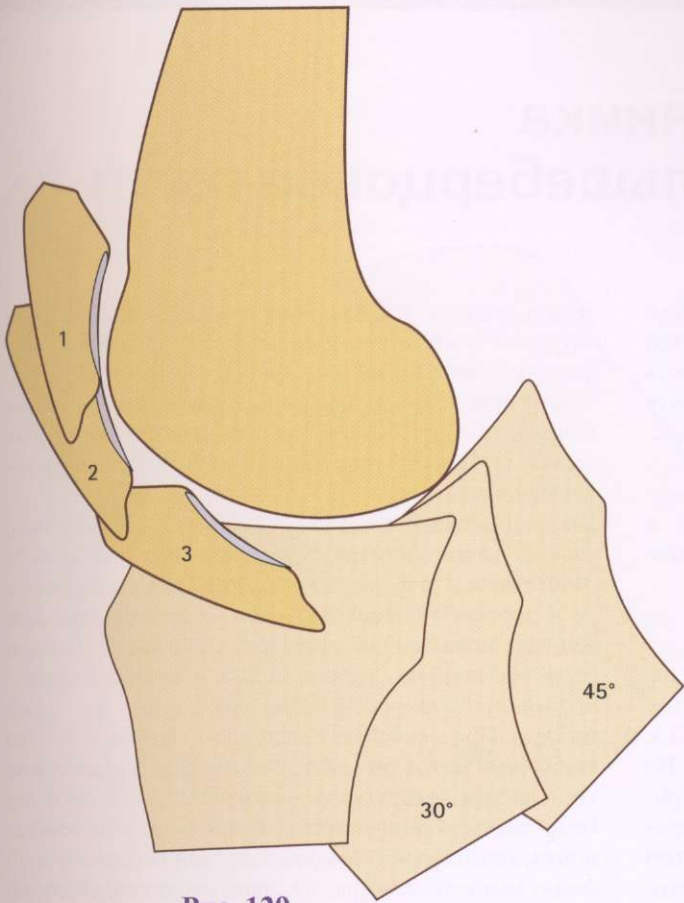


Рис. 129

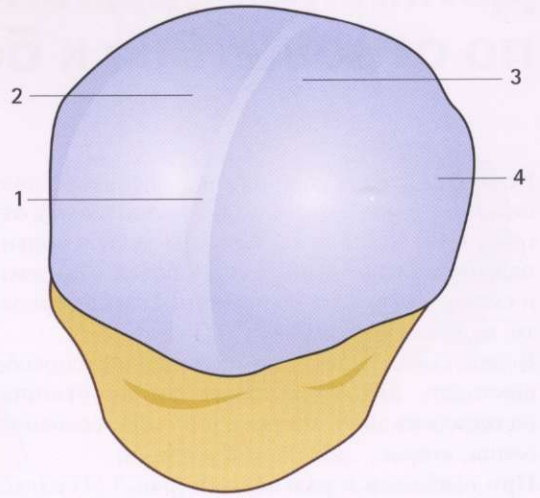


Рис. 128

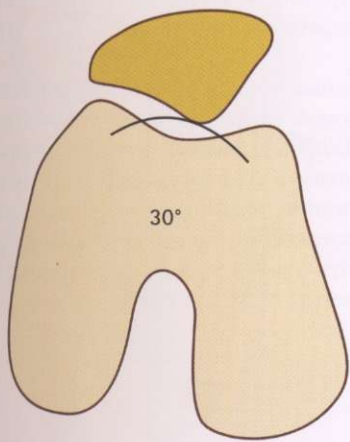


Рис. 130

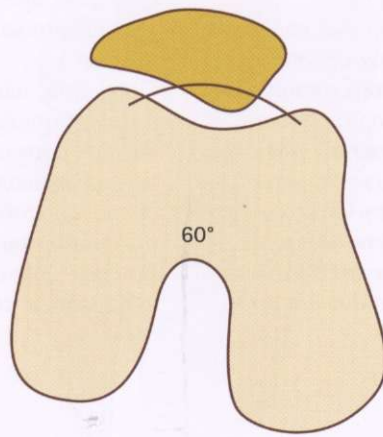


Рис. 131

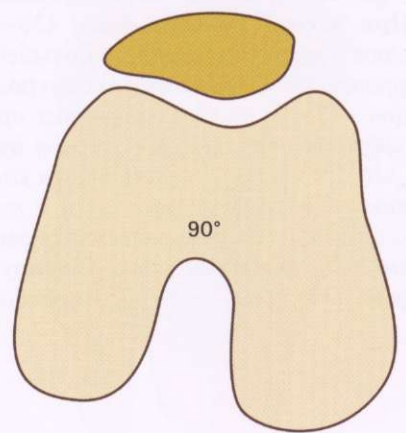


Рис. 132

# Движения надколенника по отношению к большеберцовой кости

Если представить себе, что надколенник «приварен» к большеберцовой кости подобно **локтевому отростку** (рис. 133), то это исключало бы любую подвижность надколенника по отношению к большеберцовой кости и сказалось бы на подвижности большеберцовой кости, включая ротацию.

В действительности же надколенник способен осуществлять **два вида движения по отношению к большеберцовой кости**: одно - при сгибании/разгибании, второе - при осевой ротации.

**При сгибании и разгибании** (рис. 134) надколенник движется в сагиттальной *плоскости*.

Начиная с **положения полного разгибания А**, он отступает кзади, совершая движение по окружности с центром на бугристости большеберцовой кости **О** и радиусом, равным длине связки надколенника. Во время этого движения надколенник наклоняется примерно на 35° таким образом, что его задняя поверхность, первоначально повернутая кзади, при **полном сгибании В** оказывается повернутой кзади и книзу. Таким образом, надколенник по отношению к большеберцовой кости *совершает ротационное движение или перемещается по окружности*. Это движение надколенника кзади происходит по причине следующих двух механизмов:

— смещения кзади **Д** точки контакта между мыщелками бедренной и большеберцовой костей;

- сокращения **г** расстояния **Р**, отделяющего надколенник от оси сгибания/разгибания (+).

**При осевой ротации** (рис. 135-137) надколенник движется по отношению к большеберцовой кости *во фронтальной плоскости*. В **нейтральном положении** (рис. 135) связка надколенника проходит несколько наклонно книзу и кнаружи. При **наружной ротации** (рис. 136) бедро поворачивается кнаружи по отношению к большеберцовой кости и *тянет надколенник кнаружи*, и связка надколенника располагается *слегка наклонно книзу и кнаружи*. При **внутренней ротации** (рис. 137) происходит обратное: *бедро тянет надко-*

*ленник кнутри*, поэтому связка надколенника ориентирована *книзу и кнаружи*, но более наклонно, чем в нейтральном положении.

Таким образом, перемещения надколенника по отношению к большеберцовой кости неотделимы от движений сгибания/разгибания и осевой ротации в коленном суставе.

На механической модели (*см. модель II в конце книги*) можно легко продемонстрировать, что надколенник ответственен за форму надколенной поверхности бедра и передней поверхности его мыщелков. При движениях надколенник остается *связанным с большеберцовой костью связкой надколенника и с бедром - бедренно-надколенниковыми волокнами* (*см. след. раздел*). При сгибании в коленном суставе мыщелки бедра двигаются по мыщелкам большеберцовой кости, и задняя поверхность надколенника под тягой лигаментозных прикреплений перемещается по поверхности, геометрически эквивалентной переднему профилю мыщелков бедра, т.е. дуге, отражающей последовательные положения задней поверхности надколенника. Таким образом, очертания мыщелков бедра спереди определяются преимущественно механическим прикреплением надколенника, а сзади - крестообразными связками.

Ранее уже говорилось о том, что очертания мыщелков и блока дистального конца бедра формируются большеберцовой костью и надколенником, соединенными с бедром крестообразными связками, общей связкой надколенника и медиальными и латеральными структурами.

Операции, нацеленные на *перемещение бугристости большеберцовой кости кпереди* (Маке (Maquet)) или *кнутри* (Элмсли (Elmslie)), меняют взаимоотношения между надколенником и блоком, в частности вектор силы, способствующий взаимодействию суставных поверхностей и наружному подвывиху. Отсюда проистекает значимость этих методик в лечении надколенниковых синдромов.



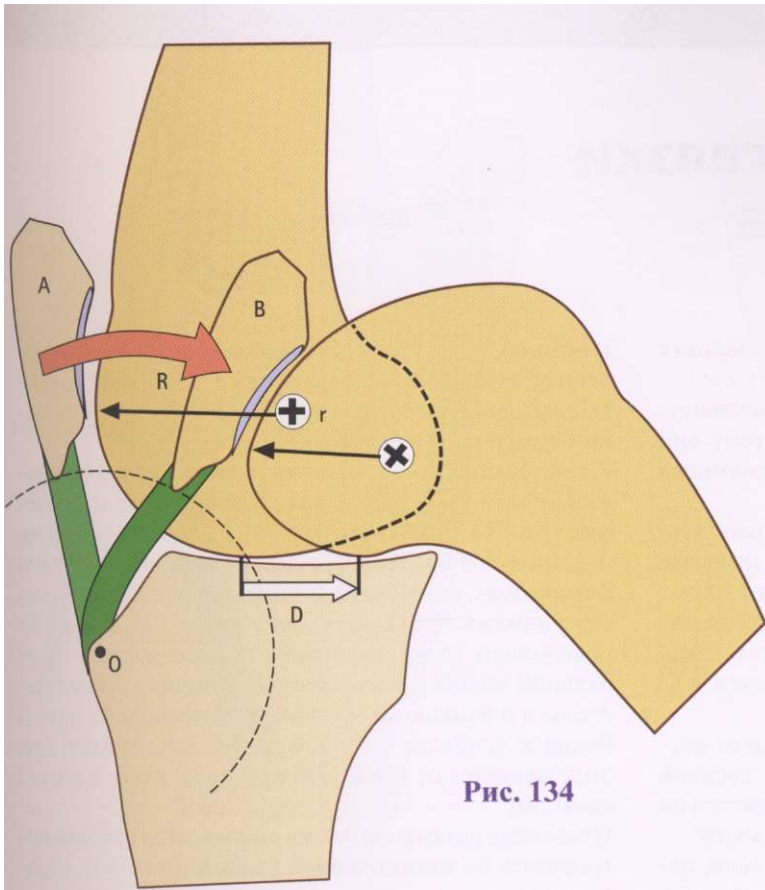


Рис. 134

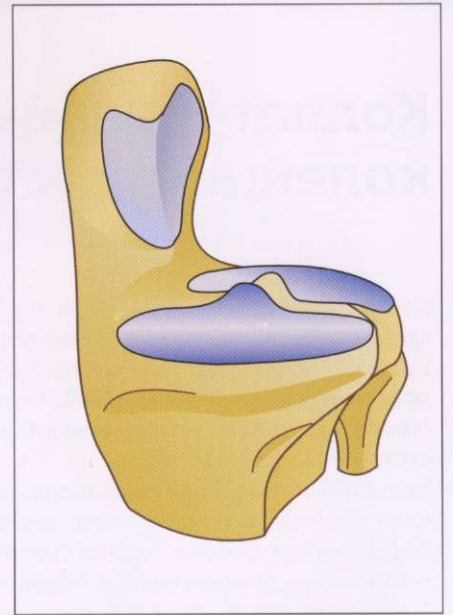


Рис. 133

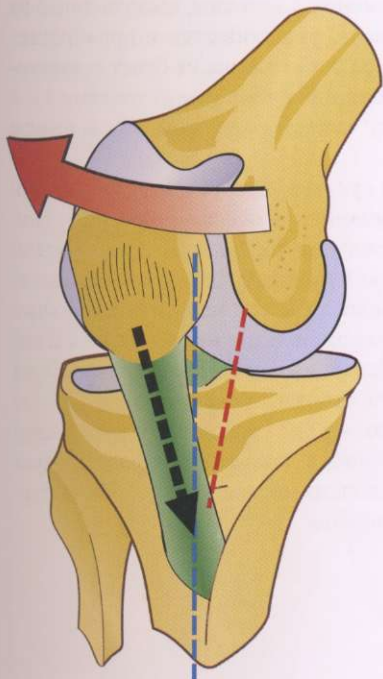


Рис. 136

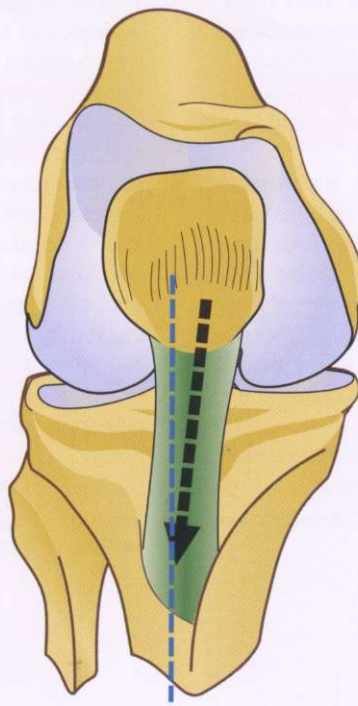


Рис. 135

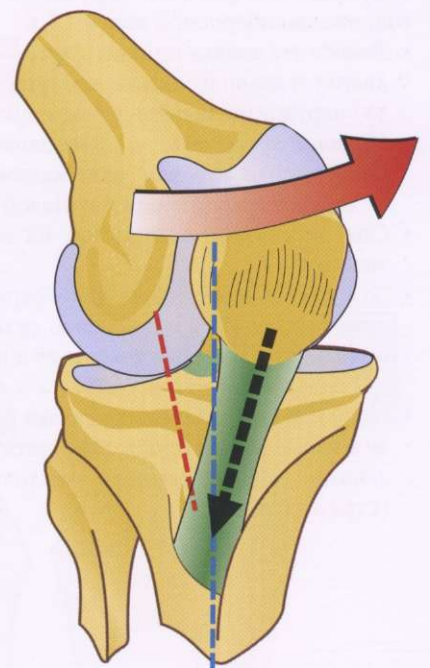


Рис. 137

# Коллатеральные связки коленного сустава

Стабильность коленного сустава зависит от мощных связок - крестообразных и коллатеральных.

Коллатеральные связки укрепляют суставную капсулу в ее внутренней и наружной частях, поэтому они обеспечивают **поперечную стабильность коленного сустава при разгибании.**

**Большеберцовая коллатеральная связка** (рис. 138) идет от внутренней поверхности внутреннего мыщелка бедра к верхнему концу большеберцовой кости LLI.

- Ее *верхнее прикрепление* к бедренной кости лежит на задневерхней внутренней части мыщелка, кзади и кверху от линии, соединяющей центры дуги XX' мыщелков (см. стр. 97).
- Ее *нижнее прикрепление* расположено кзади от места прикрепления мышц поверхностной гусиной лапки (mm. sartorius, gracilis et semimembranosus) на внутренней поверхности большеберцовой кости.
- Эта связка проходит *наклонно книзу и кпереди*, пересекаясь в пространстве с *направлением наружной малоберцовой связки (стрелка А).*

**Наружная малоберцовая связка** (рис. 139) идет от наружной поверхности наружного мыщелка бедра к головке малоберцовой кости LLE:

- *Вверху* эта связка прикрепляется к бедренной кости кверху и кзади от линии, соединяющей центры дуги уу' наружного мыщелка (см. стр. 97).
- *Нижнее прикрепление* расположено на передней поверхности головки малоберцовой кости, кнутри от места прикрепления двуглавой мышцы бедра.
- Она не связана с капсулой на всем своем протяжении.
- Эта связка отделена от периферической части наружного мениска с помощью сухожилия подколенной мышцы, которая участвует в образовании точки задненаружного угла PARE.
- Наружная малоберцовая связка идет *наклонно книзу и кзади* и пересекается в пространстве с *направлением большеберцовой коллатеральной связки (стрелка В).*

На схемах (рис. 138 и 139) можно видеть мениско-коленные крыловидные отростки **1 и 2**, а также коленные крыловидные отростки **3 и 4**, которые прижимают надколенник к бедренной кости.

Коллатеральные связки **натягиваются при разгибании** (рис. 140 и 142) и **расслабляются при сгибании** (рис. 141 и 143). На рис. 140 и 141 видна разница **d** длины большеберцовой коллатеральной связки в положениях разгибания и сгибания в коленном суставе, а также ее наклон кзади и книзу. Рис. 142 и 143 показывают те же изменения, происходящие с латеральной малоберцовой связкой, а именно *разницу ее длины e* и изменение наклона при переходе от разгибания к сгибанию - направление хода связки при этом меняется от косо книзу и кзади к более вертикальному.

Изменение натяжения связки можно легко продемонстрировать на **механической модели** (рис. 144). Клин С скользит из положения 1 в положение 2 по деревянному блоку **В**, связка представлена тяжом **ab**, прикрепленным к блоку **В** в точке **а**. При движении С из положения 1 в положение 2 этот тяж, выполненный из эластичного материала, растягивается и приобретает новую длину **ab'**, и разница длины не будет соответствовать разнице в толщине клина между точками 1 и 2 и представлять *силу натяжения* тяжа, т.е. в нашем случае связок.

Касаемо коленного сустава, при условии, что происходит полное разгибание, *мышцелок бедра скользит, подобно клину*, между мыщелком большеберцовой кости и верхней точкой прикрепления коллатеральной связки. Мыщелок ведет себя как клин, так как *радиус его дуги постепенно возрастает в переднезаднем направлении*, а коллатеральные связки прикрепляются в области вогнутости линии, соединяющей центры дуги. При сгибании на 30° коллатеральные связки расслабляются, именно в таком положении следует иммобилизовать коленный сустав после их хирургического восстановления.

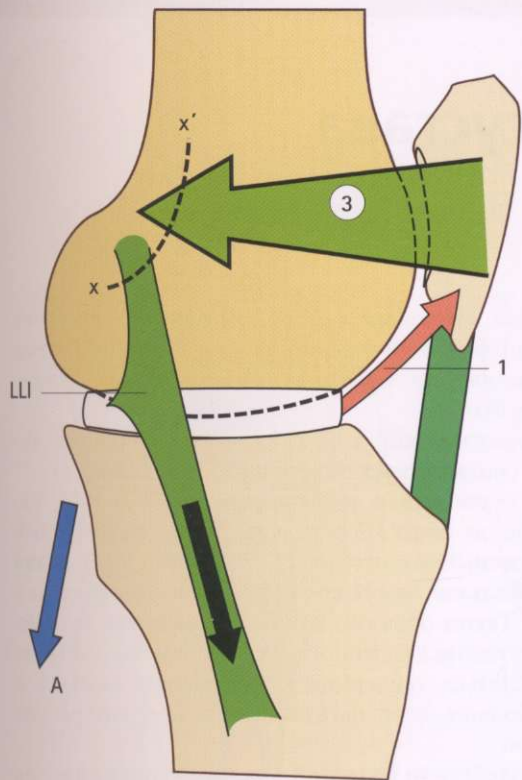


Рис. 138

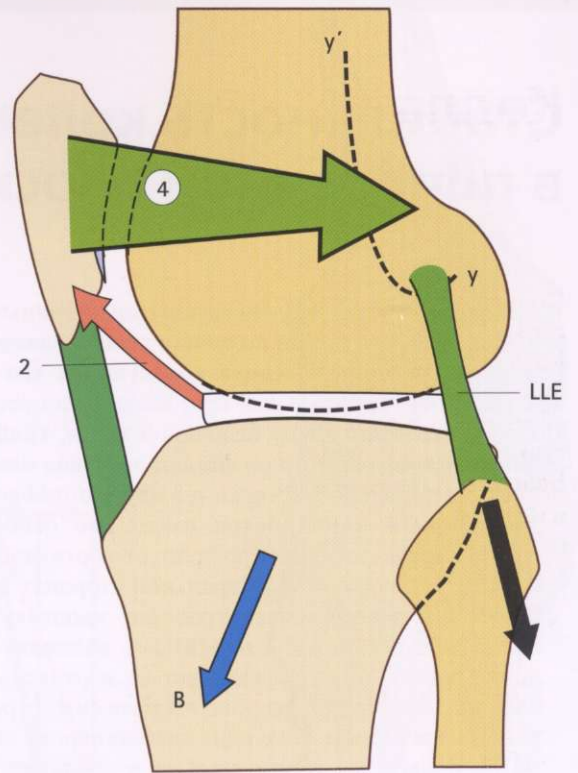


Рис. 139

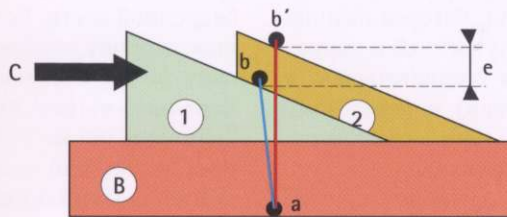


Рис. 144

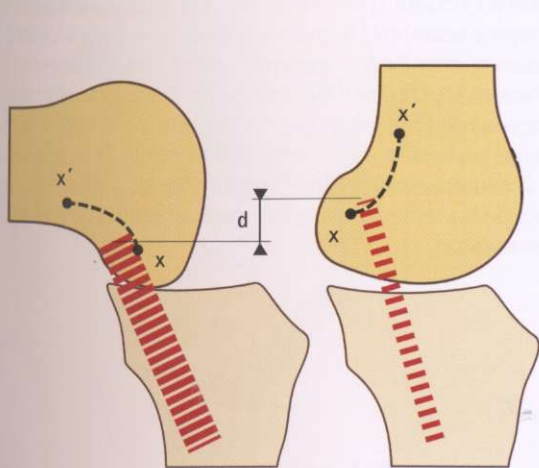


Рис. 141

Рис. 140

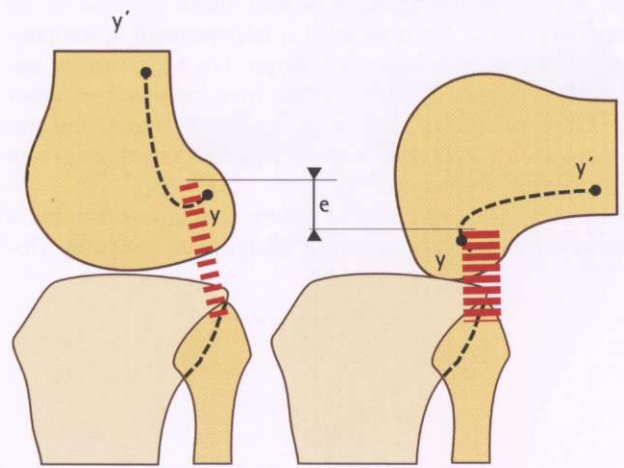


Рис. 142

Рис. 143

# Стабильность коленного сустава в поперечной плоскости

На коленный сустав воздействуют существенные боковые нагрузки, которые получили свое отражение в строении суставных концов образующих его костей (рис. 145, фронтальный срез коленного сустава). Подобно верхнему концу бедренной кости, **трабекулярные силовые линии** по линиям действия механических нагрузок присутствуют и в других отделах.

- **Дистальный конец бедра** имеет две основные группы трабекул: одна проходит от кортикального слоя на медиальной и латеральной сторонах кости и расходится веером к внутреннему мыщелку (волокна компрессии) и к наружному мыщелку (волокна растяжения), другая идет от кортикального слоя на латеральной стороне и также симметрично расходится веером. Еще одна трабекулярная система располагается горизонтально и соединяет оба мыщелка.

- **Проксимальный конец большеберцовой кости** имеет *сходную систему трабекул*, которая начинается от кортикального слоя на внутренней и наружной поверхностях и расходится соответственно к внутреннему (волокна компрессии) и наружному (волокна растяжения) мыщелкам. Оба мыщелка соединены горизонтальными трабекулами.

Поскольку при нормальном коленном суставе (рис. 146, вид колена спереди) ось бедренной кости направлена книзу и кнутри, сила  $F$ , действующая на верхний конец большеберцовой кости, прилагается не строго вертикально и может быть разложена на вертикальный компонент  $v$  и поперечный  $t$ , направленный горизонтально и кнутри. Он  $t$  стремится наклонить сустав кнутри и увеличить физиологический наклон, расширяя внутрисуставное пространство медиально  $a$ . Этому в норме препятствует система внутренних связок.

Угол наклона (вальгуса) имеет большое значение в поперечной стабилизации коленного сустава. По-

перечный компонент  $t$  будет тем больше, чем более выражен физиологический вальгус (рис. 147, схема разложения сил в соответствии с углом наклона (вальгуса)).

- Физиологический угол наклона в  $170^\circ$  (синие линии) соответствует поперечному компоненту  $t_1$ .
- При увеличенном наклоне, например в  $160^\circ$ , направление силы  $F_2$  определит более значительный поперечный компонент  $t_2$ . Этот компонент в два раза больше, чем  $t_1$  при нормальном угле наклона в  $170^\circ$ . Таким образом, чем более выражена вальгусная установка коленного сустава, тем больше будет проявляться тенденция к увеличению вальгуса и тем больше будет нагрузка на систему внутренних связок.

При воздействии **большой травмирующей силы на внутреннюю или наружную стороны коленного сустава** может произойти перелом верхнего конца бедренной кости. Если сила воздействует на внутреннюю сторону коленного сустава (рис. 148), она устраняет физиологический вальгус и вызывает сначала **перелома-вывих внутреннего мыщелка большеберцовой кости 1**. Затем, если сила этого воздействия достаточно велика, происходит **разрыв наружной коллатеральной связки 2**. Если первой «сдается» связка, перелома большеберцовой кости не происходит.

Если сила воздействует на наружную сторону коленного сустава (рис. 149), как, например, при ударе бампером машины, наружный мыщелок бедра сначала слегка смещается кнутри, затем вколачивается в наружный мыщелок большеберцовой кости и наконец раскалывает кортикальную пластинку на наружной стороне мыщелка большеберцовой кости. Это приводит к **смешанному типу перелома** наружного мыщелка большеберцовой кости (**вколоченному с перелома-вывиху s**).

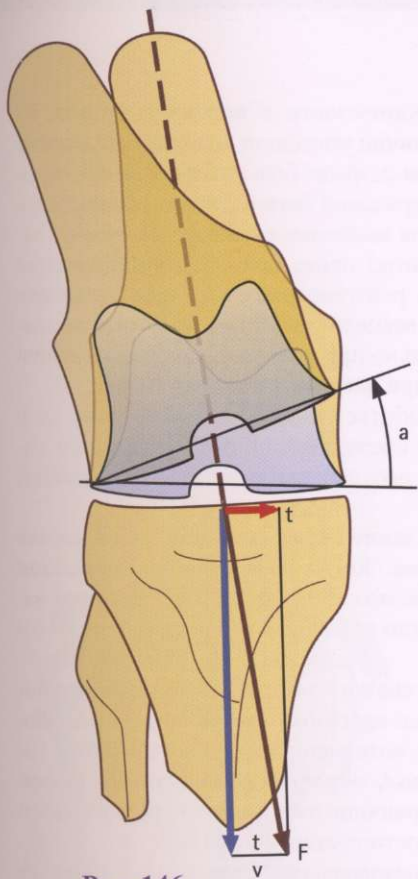


Рис. 146

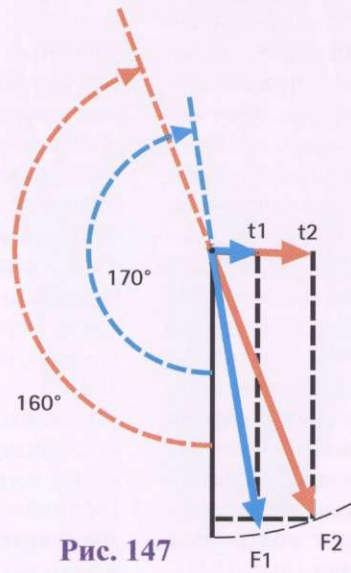


Рис. 147

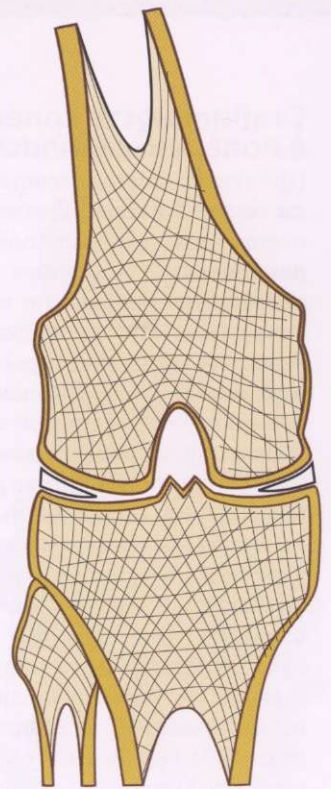


Рис. 145

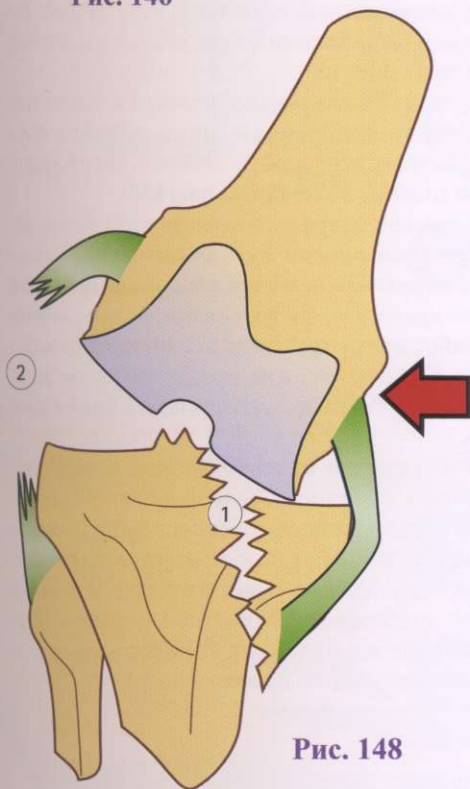


Рис. 148

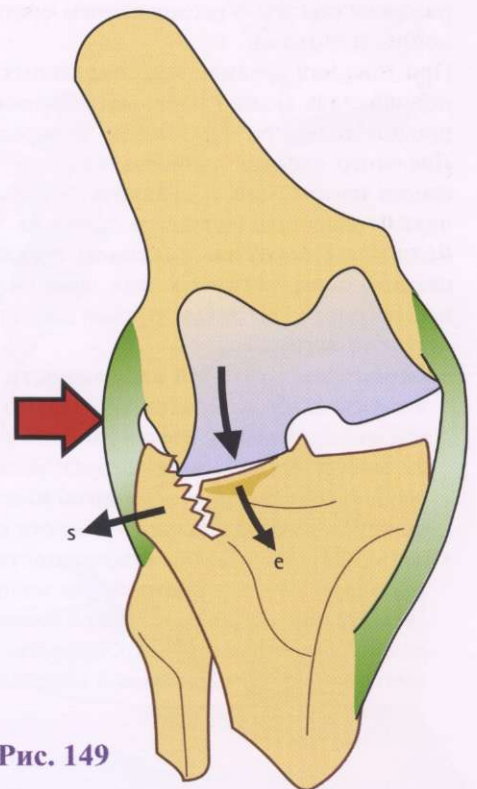


Рис. 149

### **Стабильность коленного сустава в поперечной плоскости (продолжение)**

При ходьбе и беге коленный сустав постоянно подвергается воздействию боковых сил. При определенных положениях тела, например **в состоянии непрочного равновесия с наклоном туловища в медиальную сторону по отношению к опорному коленному суставу** (рис. 150), происходит увеличение физиологического вальгуса с расхождением суставных поверхностей во внутреннем отделе сустава. Если подобная нагрузка слишком велика, она может привести к разрыву большеберцовой коллатеральной связки (рис. 151) — это **серьезное растяжение и вывих большеберцовой коллатеральной связки** с расхождением суставных поверхностей **внутри**. Следует подчеркнуть, что для такого разрыва связки недостаточно только отсутствия равновесия, требуется приложение **большой силы**.

При другом варианте **нарушения равновесия с наклоном туловища в латеральном направлении по отношению к опорному коленному суставу** (рис. 152) происходит устранение физиологического вальгуса. При воздействии мощной силы на внутреннюю сторону колена может **серьезно пострадать коллатеральная малоберцовая связка** (рис. 153) — это **растяжение и вывих малоберцовой коллатеральной связки** с расхождением суставных поверхностей **внаружу**.

При тяжелых травмах коллатеральных связок коленного сустава можно наблюдать **боковые движения**, происходящие по отношению к переднезадней оси. Для этого следует полностью разогнуть колено или слегка согнуть его и сравнить боковые движения с другим здоровым коленным суставом.

Если при разогнутом **коленном суставе**, или лучше сказать, переразогнутом, под действием веса конечности (рис. 155), двумя руками толкать его вбок, то можно отметить:

- наличие **латеральной подвижности** или **вальгуса**, что указывает на сочетание разрыва большеберцовой коллатеральной связки (рис. 151) с повреждением фибролигаментозных структур, лежащих сзади, особенно *внутренней мышечной пластинки* и места прикрепления внутреннего мениска к капсуле;
- наличие **медиальной подвижности** или **варуса** указывает на сочетание разрыва малоберцовой коллатеральной связки (рис. 153) с повреждением фибролигаментозных структур, лежащих сзади, прежде всего наружной мышечной пластинки.

**При сгибании конечности в коленном суставе на 10°** (рис. 156) наличие указанной подвижности говорит об изолированном разрыве большеберцовой или малоберцовой коллатеральной связки, так как на начальных градусах сгибания мышелки свободны. Поскольку невозможно абсолютно точно знать, в каком положении была выполнена рентгенограмма, то при постановке диагноза нельзя всецело полагаться на зияние суставной щели медиально при насильственной вальгизации или латерально при насильственной варизации.

Очень трудно добиться *полного расслабления мышц* для всемерного обследования травмированного коленного сустава, поэтому важно делать это под общей анестезией.

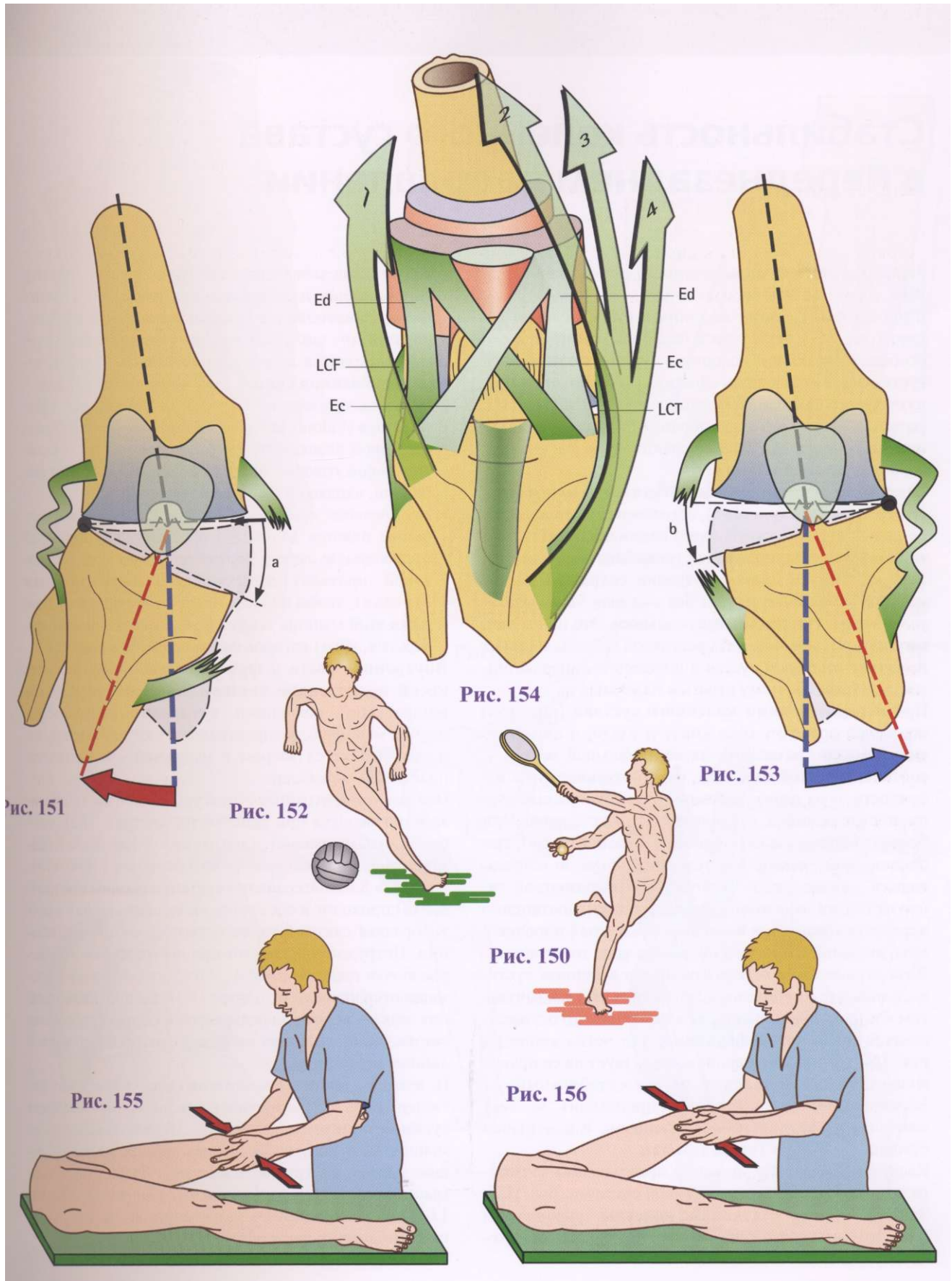
Тяжелое повреждение связок нарушает стабильность коленного сустава. Когда разорвана коллатеральная связка, сустав не может противостоять боковым нагрузкам, постоянно действующим на него (рис. 150 и 153).

Коллатеральные связки — не единственные структуры, стабилизирующие коленный сустав при сильных боковых нагрузках, возникающих при ходьбе и беге. Им помогают **мышцы, образующие истинные активные связки** и играющие очень важную роль в поддержании устойчивости сустава (рис. 154).

*Малоберцовой коллатеральной связке* LCF помогает мощный *илотибиальный тракт* 1, напрягаемый напрягателем широкой фасции бедра, сокращение которого показано на рис. 152.

*Большеберцовой коллатеральной связке* LCT помогает **сокращение мышц гусиной лапки**, а именно портняжной 2, полусухожильной 3, тонкой 4, сокращение портняжной мышцы показано на рис. 150.

Таким образом, коллатеральные связки продублированы толстыми мышечными сухожилиями. Им также помогает **четырёхглавая мышца бедра** с ее *прямыми Ed* и *крестообразными Ee* волокнами, образующими **мощную фиброзную структуру** на наружной поверхности бедра. Прямые волокна препятствуют расхождению суставных поверхностей на своей стороне сустава, а крестообразные волокна — на противоположной. Поэтому широкие мышцы, которые прикрепляются двумя типами волокон, способствуют обеспечению боковой стабильности коленного сустава как в медиальном, так и в латеральном направлениях. Это подчеркивает *значимость четырехглавой мышцы* в поддержании стабильности коленного сустава и объясняет **изменение его положения** при ее атрофии (коленный сустав становится неустойчивым).



# Стабильность коленного сустава в переднезаднем направлении

Механизм стабилизации коленного сустава зависит от того, согнут он или переразогнут.

**Стоя на ногах, когда коленный сустав слегка согнут** (рис. 157), вектор веса тела проходит позади оси сгибания/разгибания коленного сустава, поэтому этот сустав стремится к дальнейшему сгибанию, чему препятствует сокращение четырехглавой мышцы бедра (красная стрелка). Таким образом, в данном положении *четырёхглавая мышца необходима для поддержания вертикальной позы*.

Если же **коленный сустав находится в положении гиперэкстензии** (рис. 158), естественной тенденции к ее дальнейшему усугублению начинают препятствовать капсула и задние связки (показаны зеленым цветом), поэтому в данной ситуации сохранить вертикальное положение можно *без участия четырехглавой мышцы*, тут срабатывает «замок». Это объясняет, почему при параличе четырехглавой мышцы пациент приводит коленный сустав в положение гиперэкстензии, что позволяет ему стоять и даже ходить.

При **переразгибании коленного сустава** (рис. 159) ось бедра проходит косо книзу и кзади, и активную силу  $f$  можно разложить на вертикальный вектор  $v$ , соответствующий весу тела, действующему на конечность, и на горизонтальный  $h$ , направленный кзади и стремящийся увеличить гиперэкстензию. Чем более наклонно кзади пойдет направление силы  $f$ , тем больше будет вектор  $h$  и тем *сильнее будут натягиваться задние связки*. Поэтому при выраженной гиперэкстензии коленного сустава связки постепенно перерастягиваются, и возникает замкнутый порочный круг, ведущий к прогрессированию genu recurvatum.

Хотя ограничение переразгибания в коленном суставе, в отличие от локтевого, не обеспечивается контактом костных образований, тем не менее оно осуществляется **не менее эффективно**, что четко видно на рис. 160, где вес партнерши воздействует на ее правое колено, и оно, тем не менее, остается стабильным.

Блокирование гиперэкстензии происходит за счет **капсулы и соответствующих связок**, и в меньшей степени — **околосуставных мышц**.

Капсульно-связочные элементы представлены коллатеральными и задней крестообразной связками (рис. 162). **Задняя стенка суставной капсулы** укрепляется (рис. 161) мощными фиброзными тяжами. По обе сто-

роны от мышелков бедра капсула утолщается, образуя «**мышелковые пластинки**» 1, к их задним поверхностям прикрепляются головки икроножной мышцы. **Снаружи** от шиловидного отростка малоберцовой кости расходуется веерообразная связка - **дугообразная подколенная связка**, состоящая из двух тяжей:

- **наружного тяжа** или наружной латеральной связки Валуа (Valois), которая сливается с наружной мышелковой пластинкой 2 и сесамовидной костью латеральной головки икроножной мышцы 3, или фавеллой, входящей в состав пластинки;
- **внутреннего тяжа**, проходящего медиально; его самые нижние волокна 4 образуют дугообразную подколенную связку. Это своеобразная арка, под которой проходит подколенная мышца (**красная стрелка**), чтобы попасть непосредственно в сустав. Арка этой мышцы также образует верхний край отверстия, через которое она внедряется в капсулу.

**Внутренняя часть** задней стенки капсулы укреплена **косой подколенной связкой** 5, которая образуется возвратными волокнами сухожилия полумембранозной мышцы 6, распространяется кверху и кнаружи и прикрепляется веером к наружной «мышелковой пластинке» и фавелле.

Все эти лигаментозные структуры задней части сустава натягиваются при гиперэкстензии (рис. 162), особенно «**мышелковые пластинки**» 1. Как было показано ранее, при разгибании малоберцовая 7 и большеберцовая 8 коллатеральные связки (показаны прозрачными) приходят в состояние натяжения. Задняя крестообразная связка 9 также натягивается при разгибании. Нетрудно понять, что при переразгибании *верхние точки прикрепления А, В и С* этих структур перемещаются кпереди от центра **О**. Недавние исследования показали, что передненаружная крестообразная связка (не показана на рисунке) наиболее натянута в данном положении.

И, наконец, **мышцы-сгибатели** (рис. 163) играют активную роль в ограничении разгибания - это **мышцы гусиной лапки**: тонкая мышца 10, полусухожильная мышца 13 и полумембранозная мышца 14, проходящие позади внутреннего мышелка бедра, двуглавая мышца бедра 11 и две головки икроножной мышцы 12. Они контролируют разгибание, когда натянута при сгибании голеностопного сустава.

^^^Bjg



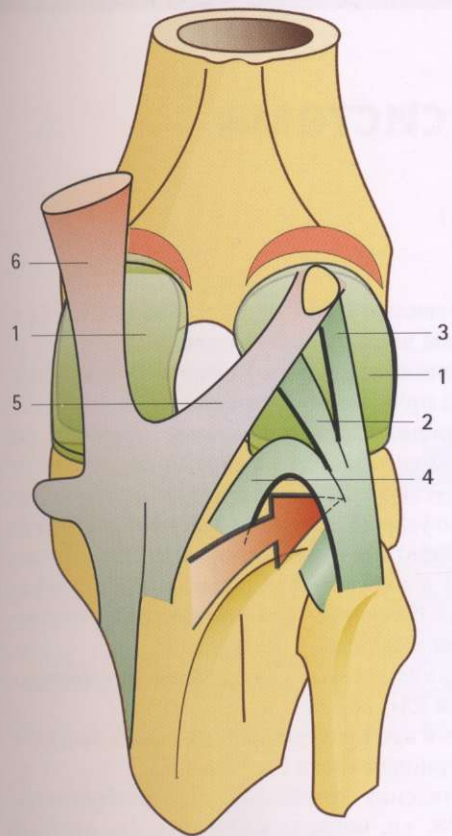


Рис. 161

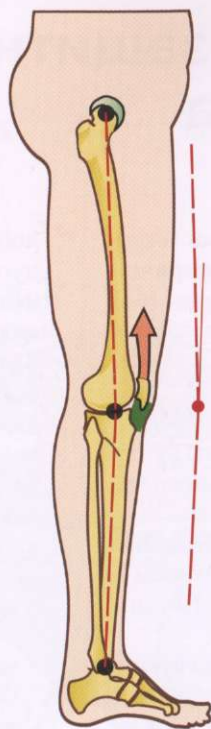


Рис. 157

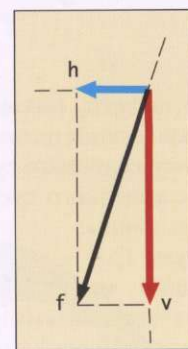


Рис. 159



Рис. 158

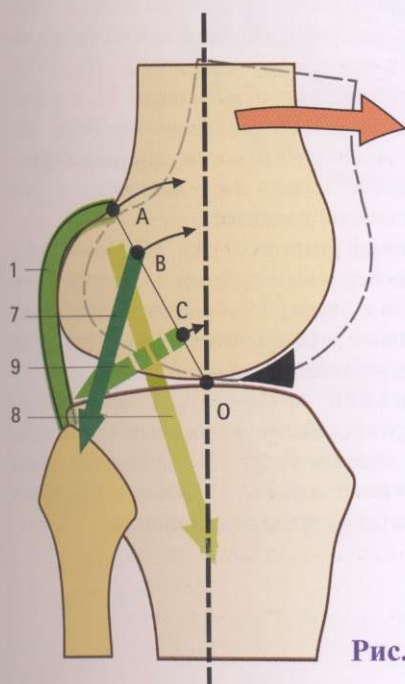


Рис. 162

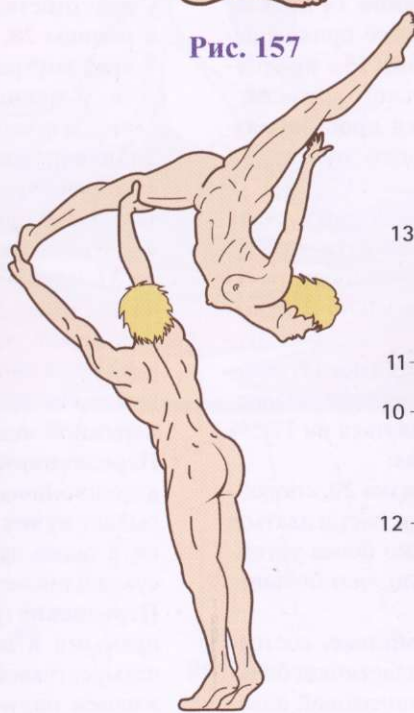


Рис. 160

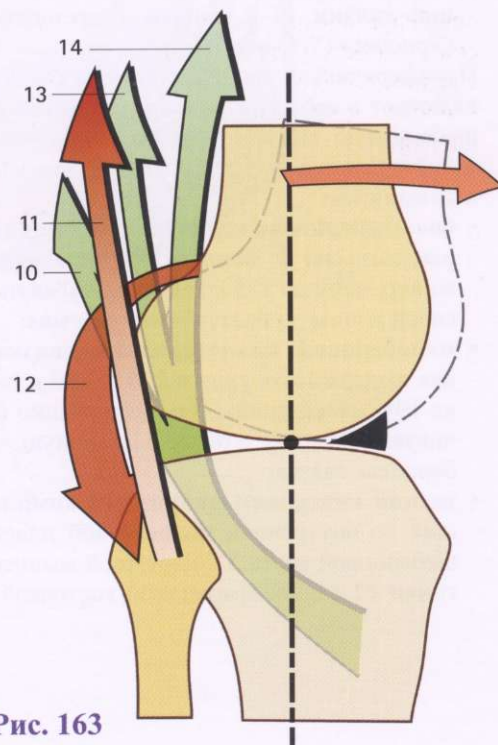


Рис. 163

# Периферическая защитная система коленного сустава

Капсульно-связочный аппарат, рассмотренный выше, образует функционально единое целое - **периферическую защитную систему коленного сустава** (рис. 164). На поперечном срезе коленного сустава, сделанном через суставную щель, видны:

- прикрепление капсулы 1;
- медиально-внутренний **мышцелок большеберцовой кости 2** с медиальным межмышцелковым бугорком 3, передний 4 и задний рога 5 **медиального мениска**;
- латерально-наружный **мышцелок большеберцовой кости 6** с латеральным межмышцелковым бугорком 7, **латеральный мениск 8 и 9**, соединенный спереди и медиально с **межменисковой связкой 10**;
- спереди - **надколенник 11**, нависающий над **бугристостью большеберцовой кости 12** и связанный с менисками **внутренней 13 и наружной 14 крыло-видными связками**, а также переднее прикрепление **передней крестообразной связки 15** с **продолжением 16** на передний рог медиального мениска;
- сзади - заднее прикрепление **задней крестообразной связки 17** с мениско-бедренным пучком 18 (Урисберг (Wrisberg)).

Периферическая защитная система коленного сустава включает в себя **три основных компонента** - большеберцовую коллатеральную связку, малоберцовую коллатеральную связку и задний капсульно-фиброзный комплекс:

- **большеберцовая коллатеральная связка 19**, которая, согласно Ф. Боннэлу (F. Bonnel), может выдерживать силу до  $115 \text{ кг/см}^2$  и растягиваться на 12,5% своей длины до наступления разрыва;
- **малоберцовая коллатеральная связка 20**, способная выдерживать силу в  $276 \text{ кг/см}^2$  и растягиваться на 19% своей длины, т.е. неожиданно более устойчивую к разрыву и более эластичную, чем большеберцовая связка;
- **задний капсульно-фиброзный комплекс**, состоящий из внутренней мышцелковой пластинки большеберцовой кости 21, наружной мышцелковой пластинки 22 с ее сесамовидной косточкой или фавел-

лой 23, усиленный кривой подколенной связкой 24 и дугообразной подколенной связкой 25.

Имеются 4 **дополнительных** фиброзно-сухожильных листка разной прочности и важности:

- **Задневнутренний листок**, самый значимый из всех. Боннэл называет его фиброзно-сухожильным ядром. Ж. Буске (G. Bousquet) говорит о точке задне-внутреннего угла PAPI, что является более хирургической, чем анатомической, концепцией. Этот задне-внутренний фиброзно-сухожильный листок, лежащий кзади от большеберцовой коллатеральной связки, включает в себя:
  - самые задние волокна внутренней коллатеральной связки LLI 26;
  - внутренний край внутренней пластинки мышцелка большеберцовой кости 27;
  - два ответвления сухожилия полумембранозной мышцы 28, т.е. **возвратный пучок 29**, книзу от края внутреннего мышцелка большеберцовой кости, и **менисковое ответвление 30**, прикрепляющееся к заднему краю внутреннего мениска.
- **Задненаружный листок PAPE** отчетливо менее мощный, чем задневнутренний, потому что **здесь** наружный мениск отделен от капсулы и малоберцовой коллатеральной связки подколенным сухожилием 31, идущим к наружному мышцелку 32. Это сухожилие имеет **менисковое ответвление 33**, которое натягивает заднюю часть наружного мениска. Укрепляется листок короткими волокнами малоберцовой коллатеральной связки 34 и наружным краем наружной менисковой пластинки.
- **Передненаружный листок PAAE** образован подвздошно-большеберцовым трактом 35, который посылает **пучок 36** к латеральному краю надколенника, а также прямым и перекрестным растяжениями сухожилия четырехглавой мышцы 37.
- **Передневнутренний листок PAAI** представлен прямыми и перекрестными волокнами сухожилия четырехглавой мышцы бедра 38, усиленным сухожилием портняжной мышцы 39, которое прикрепляется к внутреннему краю надколенника.

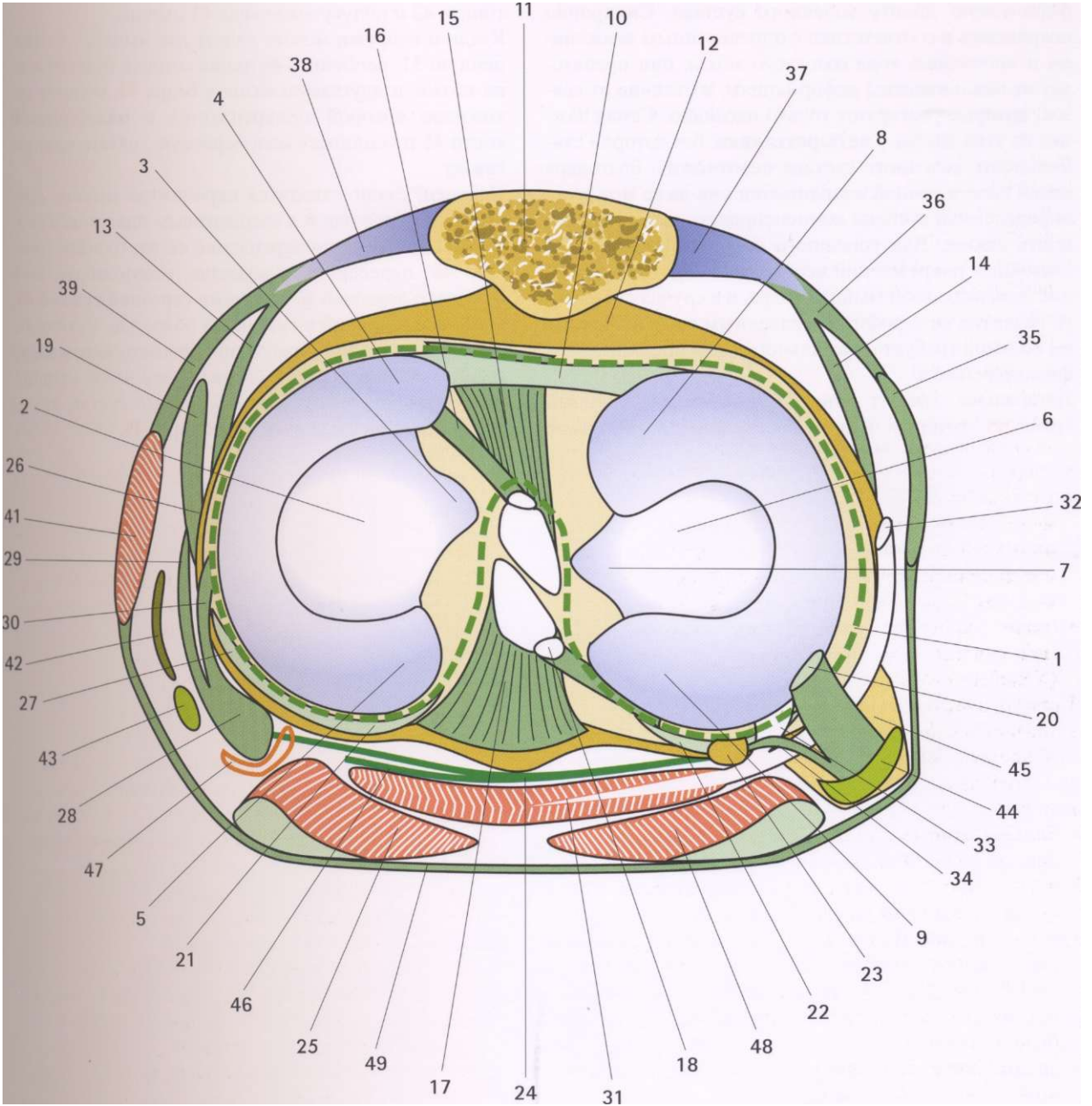


Рис. 164

## **Периферическая защитная система коленного сустава (продолжение)**

**Околосуставные мышцы** также обеспечивают периферическую защиту коленного сустава. Синхронно сокращаясь в соответствии с определенным движением и *подчиняясь коре головного мозга*, они препятствуют механическим деформациям, в отличие от связок, которые реагируют только пассивно. Самая важная из этих мышц - **четырёхглавая**, без которой стабильность коленного сустава невозможна. Благодаря своей силе и точной координации она даже может до определенной степени компенсировать несостоятельность связок. Для успешного оперативного лечения связочных повреждений необходимо хорошее состояние четырехглавой мышцы бедра, и в случаях быстрого развития ее атрофии с медленным восстановлением большой требует пристального внимания хирурга и физиотерапевта.

Латерально лежит подвздошно-большеберцовый тракт 35, который можно рассматривать как самое

последнее из сухожилий дельтовидной ягодичной мышцы. Кзади и кнутри располагаются полумембранозная, и мышцы гусиной лапки - портняжная **41**, тонкая **42** и полусухожильная **43** мышцы.

Кзади и кнаружи можно видеть две мышцы - подколенную **31**, особая функция которой будет описана позже, и двуглавую мышцу бедра **44**, мощное сухожилие которой прикрепляется к малоберцовой кости **45** и усиливает малоберцовую коллатеральную связку.

Наконец, сзади находится икроножная мышца, прикрепляющаяся над и к мышелковым пластинкам бедра. Сухожильное прикрепление ее внутренней головки **46** пересекает сухожилие полумембранозной мышцы с лежащей между ними **серозной сумкой 47**, часто соединенной с суставной полостью. Сухожильное прикрепление наружной головки икроножной мышцы **48** пересекает сухожилие двуглавой мышцы, но без сумки между ними. Коленный сустав, таким образом, полностью взят в апоневроз **49**.

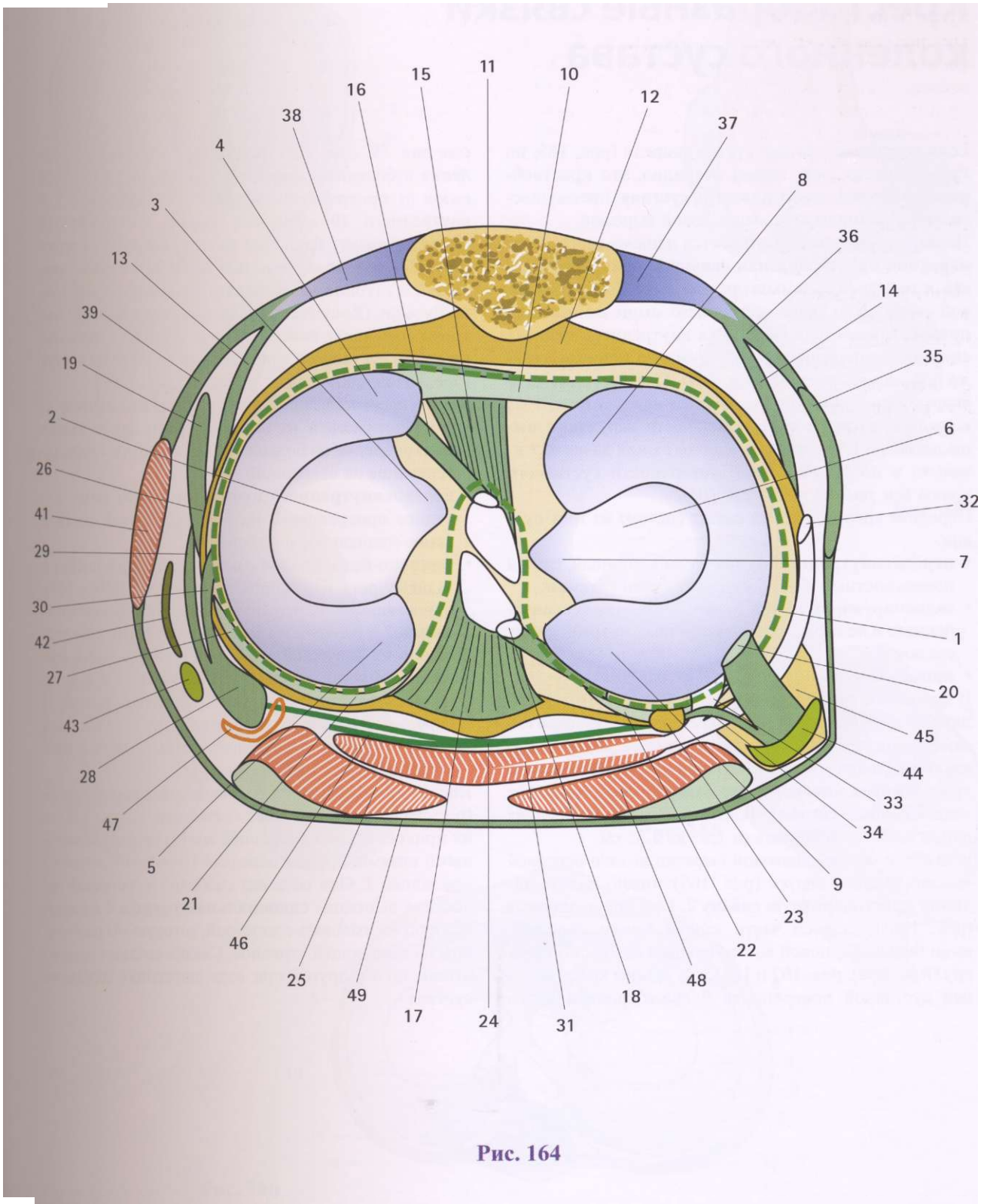


Рис. 164

# Крестообразные связки коленного сустава

Если вскрыть коленный сустав спереди (рис. 165, по Рувьеру (Rouviere)), станет очевидно, что **крестообразные связки лежат в центре сустава**, преимущественно в границах межмышцелковой вырезки.

Первая связка, которая откроется нашему взору, - это **передняя крестообразная связка 1**, прикрепляющаяся к передней межмышцелковой ямке большеберцовой кости 12 по краю внутреннего мыщелка и между прикреплением переднего рога внутреннего мениска спереди 7 и переднего рога наружного мениска 8 сзади (см. также рис. 80, стр. 105). Она проходит косо вверх и наружу и прикрепляется наверху (рис. 167) к узкой полоске на внутренней части наружного мыщелка бедра 1, по Рувьеру (Rouviere), идя далее вертикально и по самой задней поверхности суставного хряща (см. рис. 81 и 83, стр. 105).

Передняя крестообразная связка состоит из трех пучков:

- **передневнутренний пучок** самый длинный, самый поверхностный и наиболее подвержен травмам;
- **задненаружный пучок** лежит глубже передневнутреннего и не страдает при частичных повреждениях связки;
- **промежуточный пучок**.

В целом эта связка *скручена* так, что ее самые передние тибиальные волокна прикрепляются к бедру в его самой передней и нижней части, а самые задние тибиальные волокна - к самой верхней части. В результате этого волокна имеют *разную длину* в зависимости от локализации, и согласно Боннелю (Bonnel) их средняя длина может варьировать от 1,85 до 3,35 см.

В глубине межмышцелковой вырезки *позади передней крестообразной связки* (рис. 165) можно видеть **заднюю крестообразную связку 2**. Она прикрепляется (рис. 166) к задней части задней межмышцелковой ямки большеберцовой кости, нависая (согласно Рувьеру (Rouviere), рис. 167 и 168) над задним краем верхней суставной поверхности большеберцовой кости

(см. рис. 79, стр. 105). Вследствие этого ее прикрепление к большеберцовой кости (рис. 166) находится *кзади* от прикрепления задних рогов наружного 9 и внутреннего 10 менисков. Задняя крестообразная связка проходит наклонно *кнутри*, *кпереди* и *кверху* (рис. 168, колено согнуто под углом 90°) и *заканчивается 2* в глубине межмышцелковой вырезки (рис. 169, по Рувьеру (Rouviere)) и даже нависает (рис. 168) над краем наружной поверхности внутреннего мыщелка по линии суставного хряща; связка прикрепляется тут горизонтально (см. рис. 73, стр. 105).

Задняя крестообразная связка состоит из 3 пучков:

- **задненаружного пучка**, имеющего самое заднее прикрепление на большеберцовой кости и самое латеральное на бедренной,
- **передневнутреннего пучка**, имеющего самое переднее прикрепление на большеберцовой кости и самое медиальное на бедренной,
- **мениско-бедренной связки 3**, прикрепляющейся к заднему рогу наружного мениска (рис. 166 и 167), прилегающей к передней поверхности основной связки 2 и идущей вместе с ней к общему прикреплению на наружной поверхности внутреннего мыщелка. Иногда подобная связка имеется и к внутреннему мениску (рис. 166): несколько волокон 5 передней крестообразной связки прикрепляются к переднему рогу внутреннего мениска вблизи прикрепления поперечной связки 11.

Крестообразные связки соприкасаются друг с другом (рис. 169: крестообразные связки пересечены вблизи их прикрепления к бедренной кости) своими аксиальными краями, причем передняя 1 проходит латеральнее задней 2. Они не лежат свободно в суставной полости, а выстланы **синовиальной тканью 4** и имеют важную взаимосвязь с капсулой, которую мы рассмотрим на следующей странице. Связки скользят одна по отношению к другой при всех движениях коленного сустава.

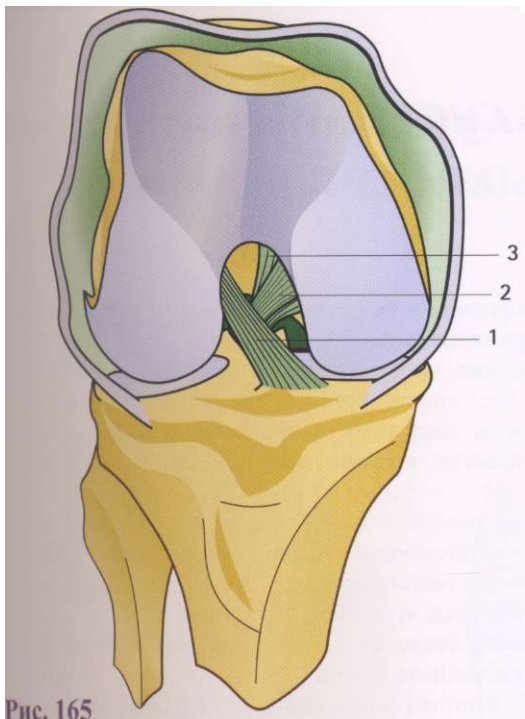


Рис. 165

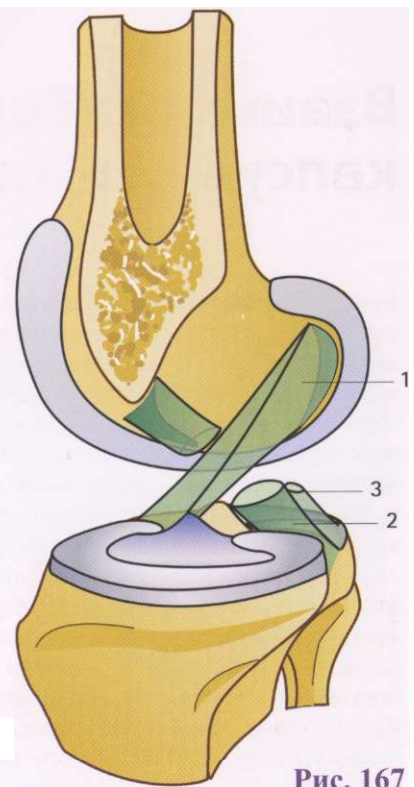


Рис. 167

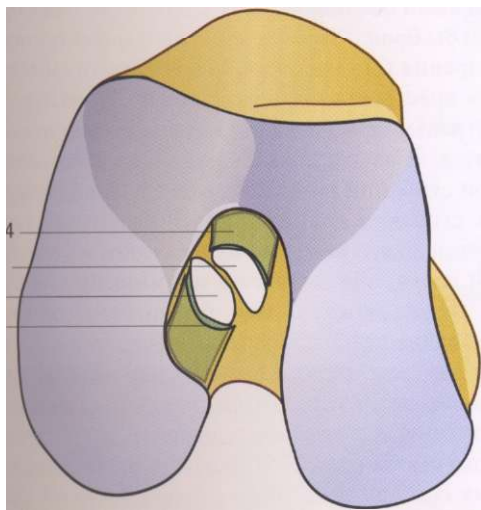


Рис. 169

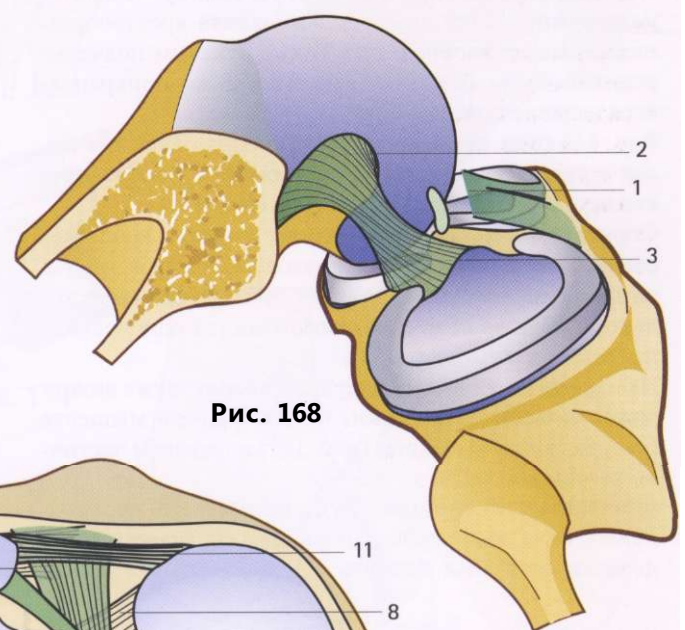


Рис. 168

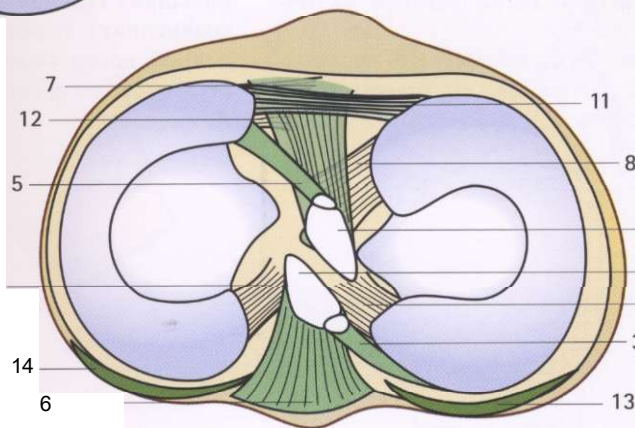


Рис. 166

# Взаимоотношения между суставной капсулой и крестообразными связками

Крестообразные связки столь интимно связаны с капсулой коленного сустава, что их можно рассматривать как утолщение капсулы или как одну из ее частей. Ранее было показано (см. рис. 78, стр. 105), как капсула входит в межмышечковую вырезку, образуя двухслойную перегородку по оси сустава. Выше также говорилось о возможности представить себе прикрепление капсулы таким образом, что крестообразные связки крепятся к большеберцовой кости вне нее. Однако это слишком упрощенно, в действительности же **прикрепление капсулы проходит через прикрепление крестообразных связок**, и утолщение капсулы, образованное ими, просто выстоит на наружной поверхности между двумя слоями перегородки.

Рис. 171 (вид сзади и изнутри после удаления внутреннего мышелка и рассечения части капсулы) показывает **переднюю крестообразную связку**, лежащую на наружном слое перегородки (задняя крестообразная связка не изображена). Также отметим подчетырехглавый карман и отверстие, к которому прикрепляется надколенник.

Рис. 172 (вид сзади и снаружи, подготовлен так же, как и рис. 171) показывает **заднюю крестообразную связку** на внутреннем слое перегородки.

Обратите внимание на то, что все волокна крестообразных связок имеют неодинаковую длину и идут в разных направлениях, поэтому при движениях в коленном суставе не все они натягиваются одновременно (см. стр. 140).

На этих схематических рисунках можно также видеть **мышечковые пластинки**, на внутреннем мышелке (рис. 172) и на наружном (рис. 171) пластинки частично резецированы.

**Фронтальный срез** (рис. 170), проходящий через заднюю часть мышелков, показывает, на какие отделы делится суставная полость (здесь суставные концы

большеберцовой и бедренной костей умышленно несколько разобщены):

- Посередине **капсульная перегородка**, утолщенная за счет крестообразных связок, делит полость сустава на наружный и внутренний отделы, она продолжается спереди жировой подушкой (см. стр. 106).
- *Каждый отдел*, в свою очередь, делится на *два уровня* менисками: верхний или надменисковый уровень соответствует линии контакта между бедренной костью и мениском, а нижний или подменисковый - линии контакта между большеберцовой костью и мениском.

Наличие крестообразных связок существенно меняет структуру этого блоковидного сустава. Если бы **два** мышелка были соединены друг с другом, то они формировали бы блок... Термин «бикондилярный сустав» с точки зрения биомеханики лишен всякого смысла. Передняя крестообразная связка (рис. 173) из исходного нейтрального положения 1 сначала горизонтально ложится 2 на суставное плато большеберцовой кости при сгибании на 45-50°, а затем на последних градусах сгибания достигает своей наивысшей точки 3. Перемещаясь книзу по направлению к большеберцовой кости, она ложится в межмышечковую бороздку, «входя» между остями большеберцовой кости, как нож для резки хлеба (рис. 174, рисунок показывает нож для резки хлеба, разделяющий **два** межмышечковых бугорка). При движении из положения разгибания А в крайнее сгибание В задняя крестообразная связка (рис. 175) проходит по значительно большему сектору (под углом равным почти 60°) по сравнению с передней связкой и «вырезает» в бедренной кости межмышечковую вырезку, разделяющую стороны физиологического блока, образованного мышелками.



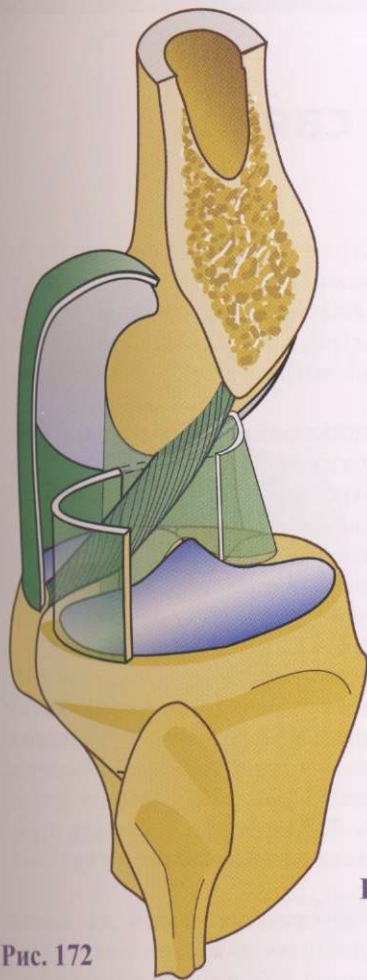


Рис. 172

Рис. 170

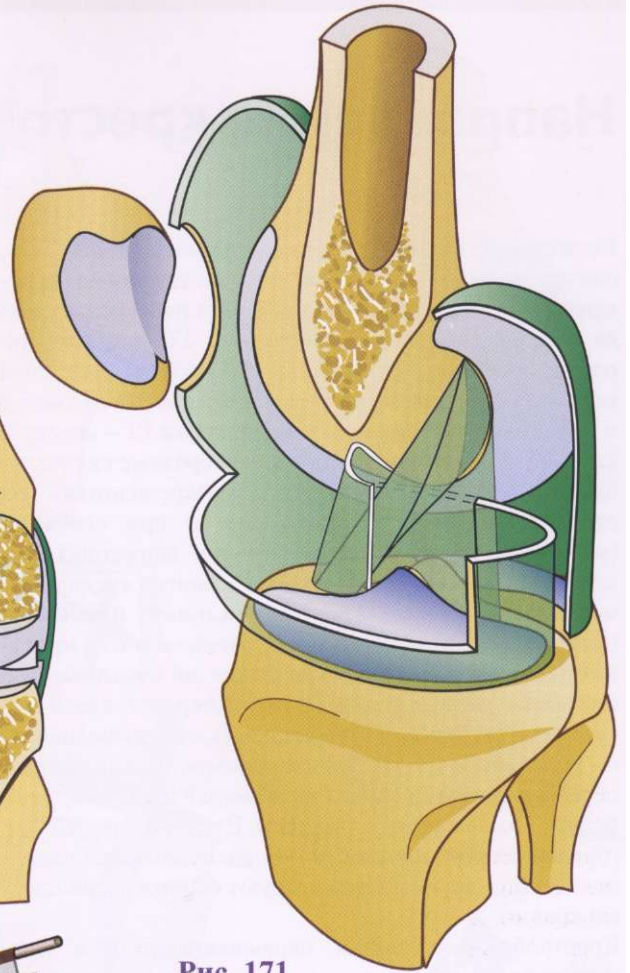


Рис. 171

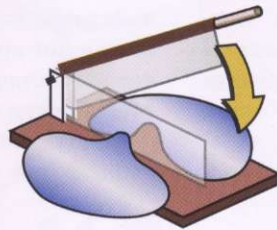


Рис. 174

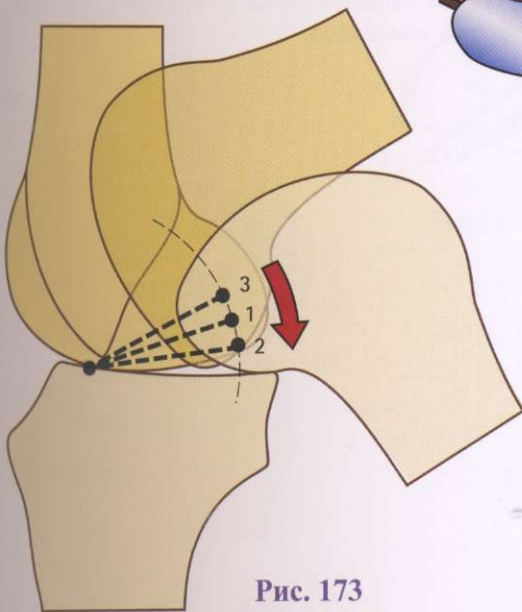


Рис. 173

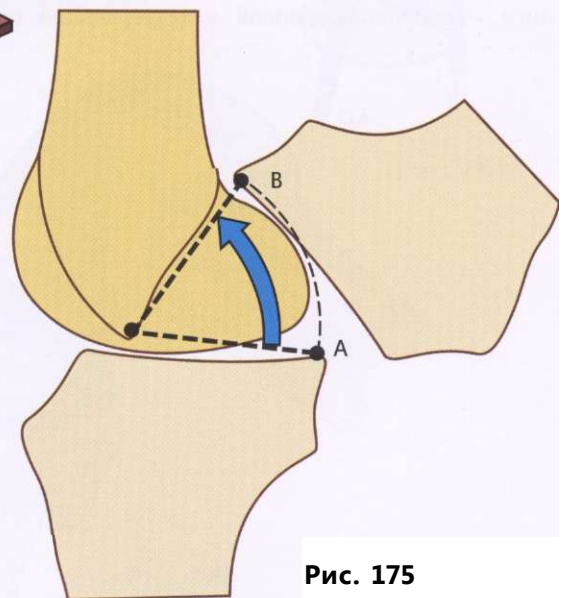


Рис. 175

## Направление крестообразных связок

Если смотреть в перспективе сзади и изнутри (рис. 176, связки растянуты), эти связки действительно **перекрещиваются в пространстве**. Они перекрещиваются в **сагиттальной плоскости** (рис. 177, вид изнутри на наружный мыщелок бедренной кости), при этом передняя крестообразная связка АЕ идет косо кверху и кзади, а задняя крестообразная связка РІ - кверху и кпереди. Если изолировать крестообразные связки, то будет видно, что они остаются перекрещенными как при разгибании (рис. 178), так и при сгибании (рис. 179). Также заметим, что при движениях они скользят относительно друг друга своими аксиальными поверхностями. Во **фронтальной плоскости** (рис. 180, вид сзади) они также располагаются **крестнакрест**, так как их прикрепления на большеберцовой кости (черные точки) лежат на переднезадней оси сустава (стрелка S), а прикрепления к бедру находятся на расстоянии 1,7 см. Таким образом, задняя крестообразная связка проходит *косо кверху и кнутри*, а передняя — *косо кверху и кнаружи*. В отличие от этого, в горизонтальной плоскости они располагаются параллельно друг другу и контактируют своими аксиальными краями.

Крестообразные связки перекрещиваются в пространстве не только друг с другом, **но и с коллатеральной связкой на своей стороне**. Так, передняя крестообразная связка перекрещивается с малоберцовой коллатеральной (рис. 181, вид снаружи), а задняя - с большеберцовой коллатеральной связкой

(рис. 182, вид изнутри). Таким образом, каждая из этих связок *последовательно меняется* со своей ближайшей соседкой наклоном, если считать снаружи кнутри или наоборот (рис. 183, схематическое изображение четырех связок по отношению к большеберцовому плато).

**Угол наклона крестообразных связок различен**. Так, при полном разгибании в коленном суставе (рис. 177) передняя крестообразная связка АЕ проходит *более вертикально*, а задняя РІ - *более горизонтально*. Их прикрепления к бедренной кости имеют такой же вид (показано прозрачным): прикрепление задней крестообразной связки горизонтальное Б, а передней - вертикальное а.

При *согнутом положении коленного сустава* (рис. 184, вид изнутри наружного мыщелка бедренной кости) задняя крестообразная связка, которая в положении разгибания располагается горизонтально, приходит в вертикальное положение (рис. 179), описывая дугу в 60° по отношению к большеберцовой кости, а передняя крестообразная связка приподнимается при этом очень незначительно.

**Соотношение крестообразных связок по длине** имеет индивидуальные особенности, но вместе с расстояниями прикреплений к бедренной и большеберцовой костям создает **собственные характерные особенности каждого коленного сустава** и, как было сказано ранее, является одним из факторов, определяющих форму мыщелков.

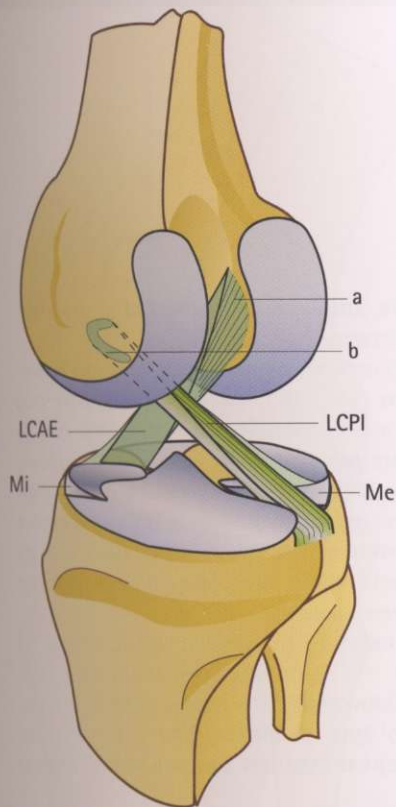


Рис. 176

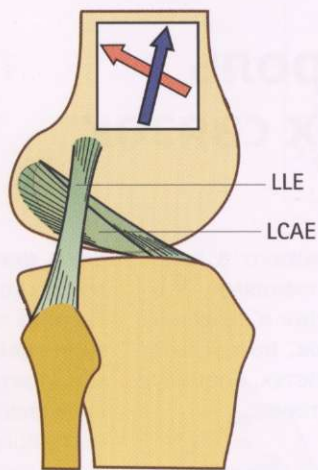


Рис. 181

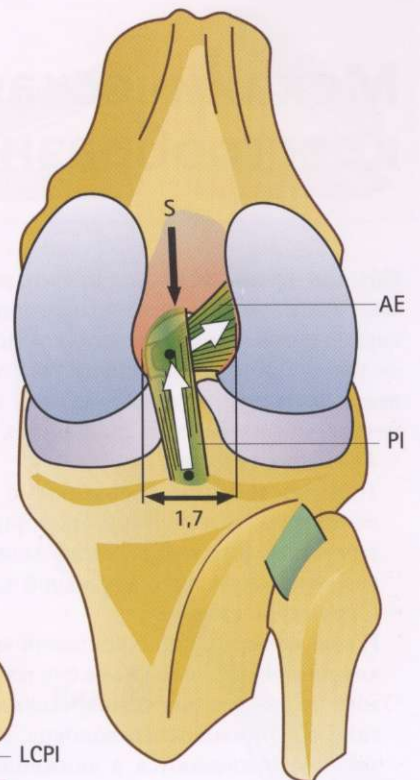


Рис. 180

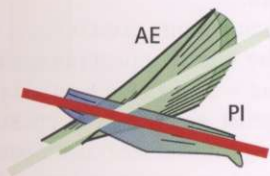


Рис. 178

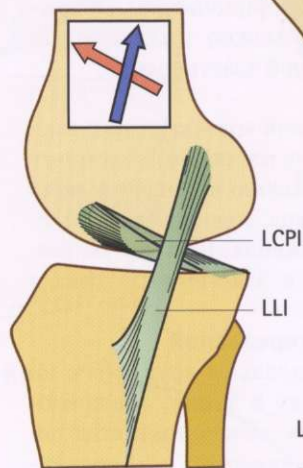


Рис. 182

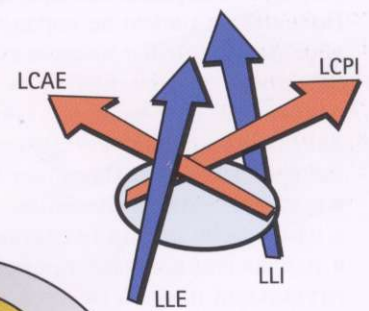


Рис. 183

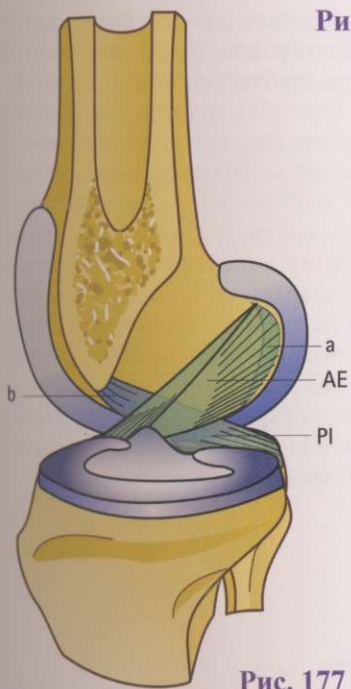


Рис. 177

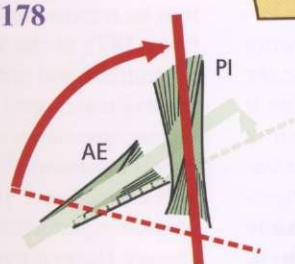


Рис. 179

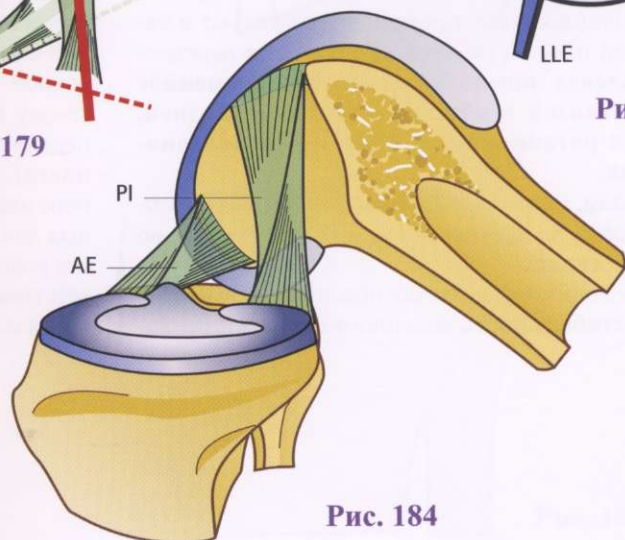


Рис. 184

# Механическая роль крестообразных связок

Обычно крестообразные связки изображают в виде линейных тяжей с точечными прикреплениями. Это справедливо лишь в первом рассмотрении и позволяет понять общую функцию этих связок, но не дает представления о функциональных тонкостях, поэтому нельзя забывать о трех следующих факторах:

- **Толщина связки**

Толщина и объем связки прямо пропорциональны ее прочности и обратно пропорциональны ее эластичности. Каждое волокно можно рассматривать как маленькую пружину малой эластичности.

- **Структура связки**

Из-за размера ее прикреплений *волокна связки имеют разную длину*. Важное следствие этого состоит в том, что не все они одновременно вступают в действие. Как и мышечные волокна, волокна связки постепенно вовлекаются в движение, поэтому на разных его этапах прочность и эластичность связки неодинаковы.

- **Размер и направление прикреплений**

Волокна не только не параллельны друг другу, но нередко скручены, поскольку и линии, соединяющие точки их прикрепления, далеко не всегда параллельны, они чаще идут наклонно или перпендикулярно друг другу. Относительная ориентация прикреплений меняется при движениях, что ведет к постепенному вовлечению волокон в движение и к изменению действия связки в целом. Изменения в направлении связки происходят не только в сагиттальной плоскости, но и *во всех трех плоскостях*, объясняя **комплексное и одновременное действие связок в обеспечении переднезадней, боковой и ротационной стабильности коленного сустава**.

Таким образом, геометрия крестообразных связок определяет *форму мышечков бедра и блока в целом во всех трех плоскостях*.

**В целом крестообразные связки обеспечивают переднезаднюю стабильность** коленного сустава и позво-

ляют **шарнирные движения**, удерживая суставные поверхности в контакте.

Их роль можно продемонстрировать на простой **механической модели** (рис. 185, вид модели в разрезе) (*см. приложение в конце книги*). Две картонки А и В скрепляются двумя лентами ab и cd, соединяющими противоположные концы деталей. Таким путем они могут двигаться по отношению друг к другу на своих «петлях». Эти точки **a** и **b** могут накладываться на точки **c** и **d** соответственно, но *скользящие движения в данном случае невозможны*.

Крестообразные связки напоминают такие ленты за тем исключением, что движения происходят не в двух блоковидных соединениях, а в целом ряде соединений, лежащих по дуге мыщелка. Как и на модели, **скольжение в переднезаднем направлении невозможно**.

На дальнейших схемах (рис. 186 и рис. 188) крестообразные связки представлены прямыми линиями (передняя = ab, задняя = cd). На рис. 187 и 189 они представлены крайними и средними волокнами с соответствующими местами прикрепления.

Начиная из нейтрального положения стоя (рис. 186) или из положения небольшого сгибания под углом 30° (рис. 187), когда крестообразные связки натягиваются до одинаковой степени, сгибание вызывает *наклон бедренной пластины eb* (рис. 188), при этом задняя связка cd *распрямляется* и передняя связка ab *становится горизонтальной*. Как можно видеть на более подробной схеме (рис. 189), сгибание в 60° перемещает бедренное прикрепление задней крестообразной связки **кверху (красного цвета)**, а бедренное прикрепление передней крестообразной связки - **книзу (зеленого цвета)**. Необходимо дальнейшее изучение постепенного натяжения отдельных волокон связок при различных движениях коленного сустава, поскольку ясно, что все волокна испытывают различное натяжение в соответствии с положением всей связки в целом (рис. 190, схема волокон задней крестообразной связки).

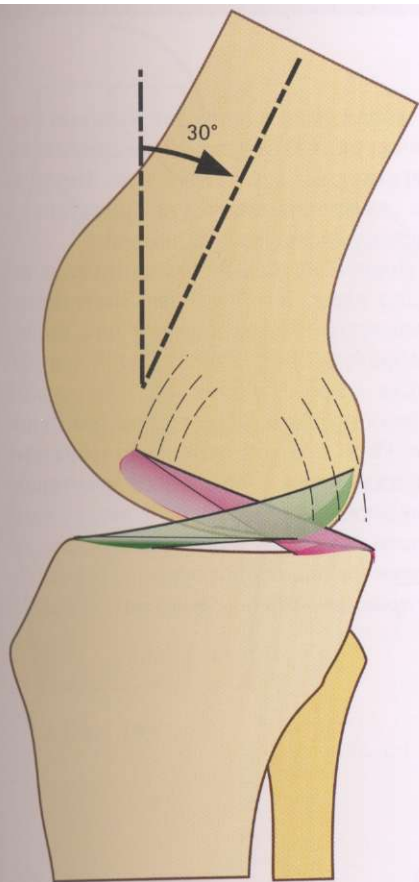


Рис. 187

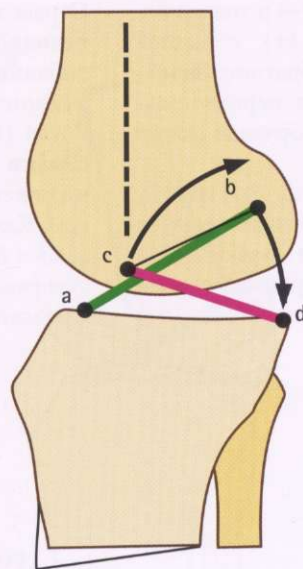


Рис. 186

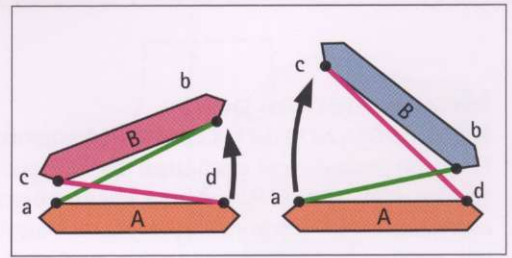


Рис. 185

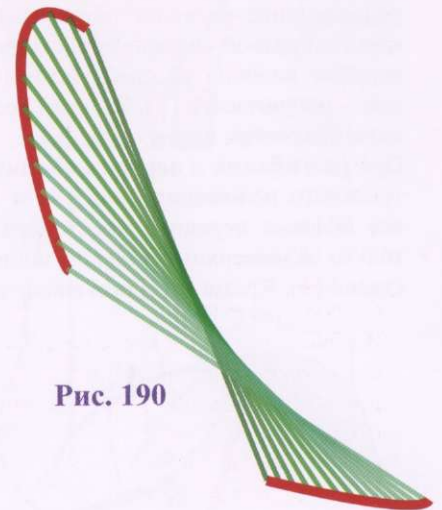


Рис. 190

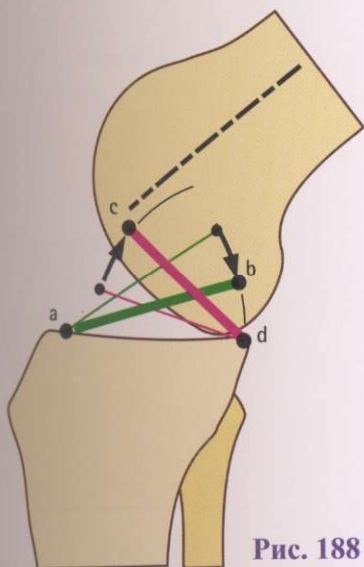


Рис. 188

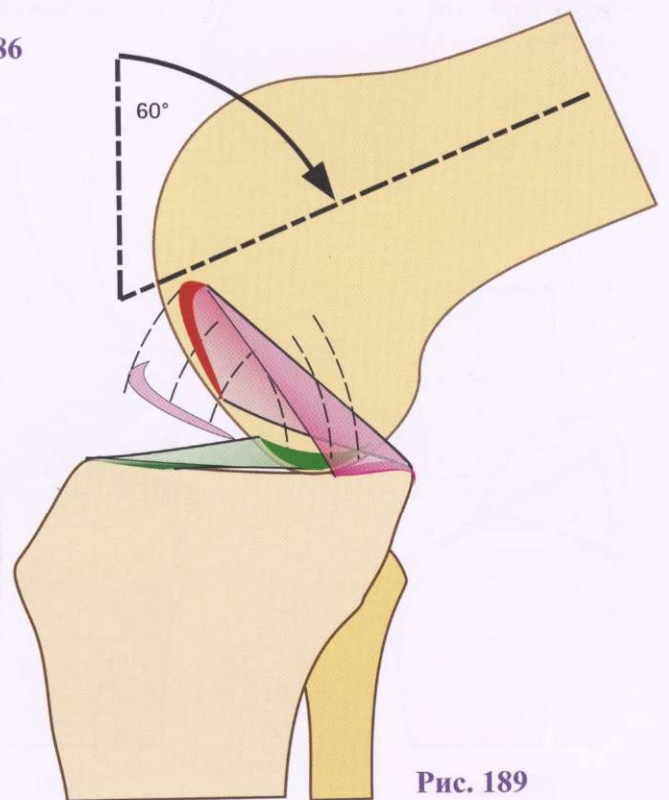


Рис. 189

### **Механическая роль крестообразных связок (продолжение)**

По мере увеличения сгибания до  $90^\circ$  (рис. 191) и затем до  $120^\circ$  (рис. 192) задняя крестообразная связка выстраивается вертикально и натягивается больше, чем передняя. Как можно видеть на более подробной схеме (рис. 193), средние и нижние волокна передней крестообразной связки расслабляются (—) и только передневерхние волокна натягиваются (+), с задней крестообразной связкой происходит обратное. Задневерхние волокна расслабляются (—), а передненижние — напрягаются (+). Задняя крестообразная связка натягивается во время сгибания.

При **разгибании** и **переразгибании** (рис. 194) из нейтрального положения (рис. 195 и 196) натягиваются все волокна передней крестообразной связки (+) и только задневерхние волокна задней крестообразной связки (+). Кроме того, при гиперэкстензии (рис. 197)

дно межмышечковой ямки с приходит в контакт (**маленькая черная стрелка**) с передней крестообразной связкой и натягивает ее, как тетиву лука. Передняя крестообразная связка натягивается при разгибании и *помогает контролировать переразгибание*.

Ф. Боннел (F. Bonnel) на механических моделях недавно подтвердил идеи, первоначально высказанные Страссэром (Strasser) в 1917 г. по поводу того, что передняя крестообразная связка натягивается при разгибании, а задняя - при сгибании. Более детальный механический анализ подтверждает и предположение Роуда (Roud) в 1913 г. о том, что **крестообразные связки всегда находятся в состоянии некоторого натяжения** вследствие неодинаковой длины их волокон. Как это часто случается в биомеханике, *две, казалось бы, противоречащие друг другу гипотезы могут оказаться правильными и не являются взаимоисключающими*.

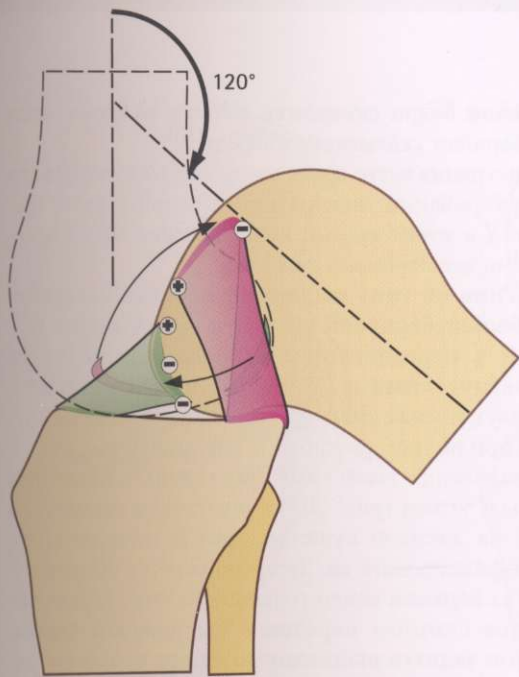


Рис. 193

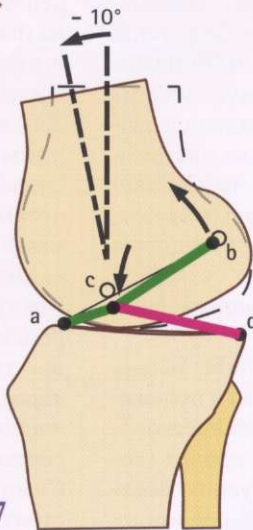


Рис. 197

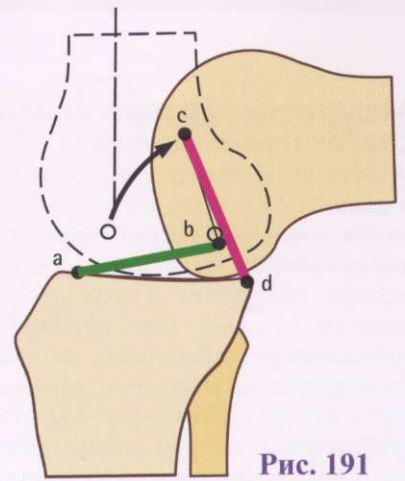


Рис. 191

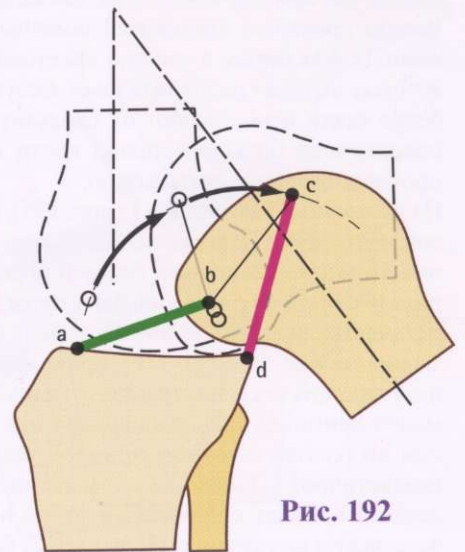


Рис. 192

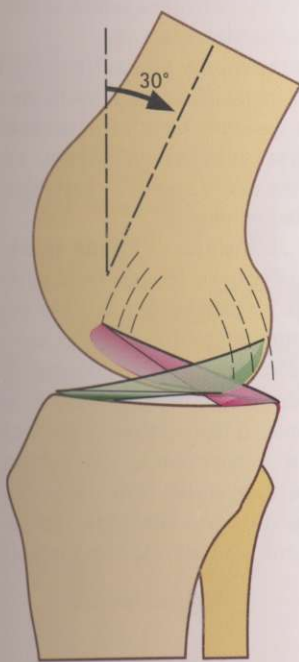


Рис. 196

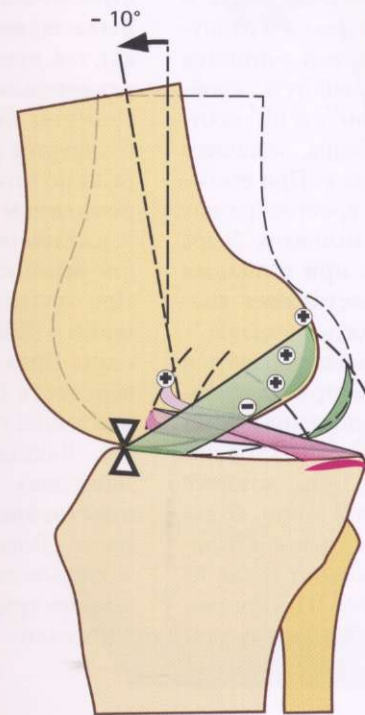


Рис. 194

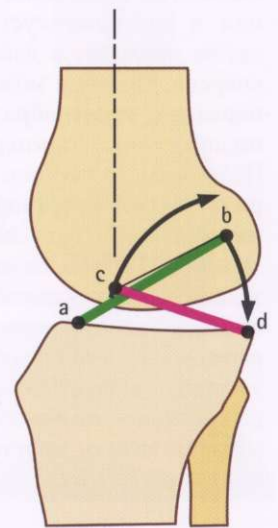


Рис. 195

## Механическая роль крестообразных СВЯЗОК (продолжение)

Мы уже упоминали ранее, что мышелки бедра катятся и скользят по суставному плато большеберцовой кости (см. стр. 100). Нетрудно представить себе движение скатывания, но встает вопрос: каким образом происходит скольжение в этом достаточно плотно замкнутом суставе? Оно **активно осуществляется мышцами-разгибателями**, которые тянут большеберцовую кость кпереди по отношению к бедренной кости при разгибании (см. стр. 158), и **мышцами-сгибателями**, которые заставляют суставную поверхность большеберцовой кости скользить кзади при сгибании. Но при изучении этих движений на анатомическом препарате становится заметным участие **пассивных факторов**, а именно крестообразных связок, которые выходят на первый план. Они тянут мышелки бедра кзади и заставляют их скользить по суставной поверхности большеберцовой кости в направлении, противоположном скатыванию.

Из положения разгибания I (рис. 198), если бы мышелок катился без скольжения, он оказался бы в положении II, и прикрепление к бедру b передней крестообразной связки ab оказалось бы в точке B", пройдя теоретическое расстояние bb'. Подобная ситуация, показанная на рис. 97 (стр. 111), привела бы к повреждению заднего рога внутреннего мениска. Но точка b может двигаться только по кругу с центром a и радиусом ab (связка в данном примере условно считается неэластичной). Таким образом, истинный путь, пройденный B, будет соответствовать не bb", а bb' соответственно положению III мышелка бедра, лежащего кпереди от положения II на расстоянии e. При сгибании в коленном суставе передняя крестообразная связка приходит в действие и тянет мышелок бедра кпереди. Поэтому можно сказать, что **при сгибании передняя крестообразная связка заставляет мышелок скользить кпереди**, а сам он катится кзади.

Подобным же образом можно продемонстрировать и **роль задней крестообразной связки при разгибании** (рис. 199). При скатывании из положения I в положение II мышелок ощущает тягу кзади со стороны задней крестообразной связки cd, и путь, который проходит ее прикрепление к бедренной кости, будет равен не cc', а cc" по окружности с центром d и радиусом dc. Таким образом, мышелок скользит кзади на расстояние n, чтобы достичь положения III. При разгибании **задняя крестообразная связка заставляет**

**мышелок бедра скользить кзади** в то время, когда он совершает скатывание кпереди.

Демонстрация всего выше написанного возможна при конструировании модели, прилагаемой к книге (см. модель I в конце книги), где натяжение связок представлено эластичными лентами.

**Движения по типу выдвигного ящика, совершаемые большеберцовой костью** по отношению к бедренной **в переднезаднем направлении, являются патологическими** и могут быть продемонстрированы в двух положениях: при сгибании под прямым углом и при полном разгибании в коленном суставе.

Для выявления этого симптома **голень сгибают под прямым углом** (рис. 202) в положении пациента на спине на жесткой кушетке; врач садится на стопу, чтобы фиксировать ее. Затем он берется **обеими руками** за верхний конец голени: при тяге кпереди выявляется симптом **переднего выдвигного ящика**: симптом **заднего выдвигного ящика** проверяют перемещением голени в обратном направлении. Стопа при этом может располагаться прямо - *поиск прямого ящика*, повернутой кнаружи - *ящик при наружной ротации*, и повернутой кнутри - *ящик при внутренней ротации*.

Симптом **заднего выдвигного ящика** (рис. 200) состоит в смещении большеберцовой кости **кзади** по отношению к бедренной, он свидетельствует о **разрыве задней крестообразной связки** (черная стрелка), т. е. «симптом заднего выдвигного ящика —\* повреждение задней крестообразной связки».

Симптом **переднего выдвигного ящика** (рис. 201) базируется на смещении большеберцовой кости **кпереди** по отношению к бедренной, он обусловлен **повреждением передней крестообразной связки**, т. е. «симптом переднего выдвигного ящика —> повреждение передней крестообразной связки».

При проведении теста **Лашмана — Трийа (Lachmann - Trillat)** коленный сустав должен быть **разогнут**. Врач одной рукой поддерживает заднюю поверхность бедра и, взявшись другой рукой за верхний конец голени, пытается сдвинуть ее спереди назад. Любое движение кпереди (передний симптом Лашмана) указывает на повреждение **передней крестообразной связки** в сочетании, как считает Буске (Bousquet), с задненаружным фиброзно-сухожильным листком. Проводить это **обследование довольно трудно** из-за малой амплитуды проверяемых движений.



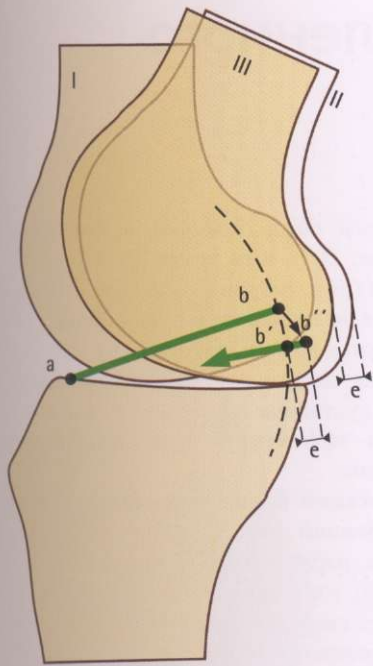


Рис. 198

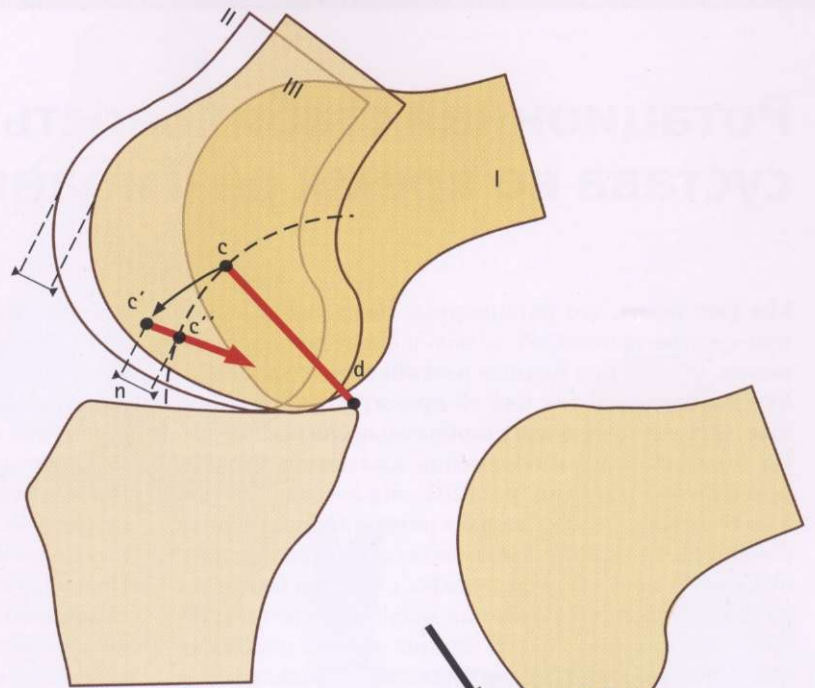


Рис. 199

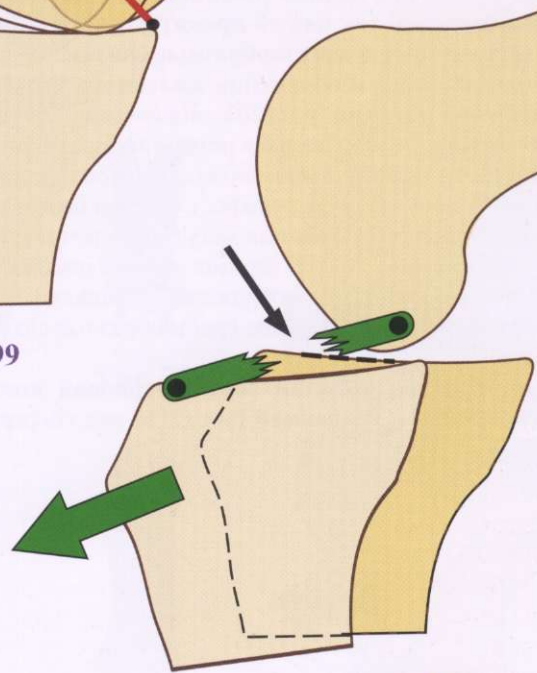


Рис. 201

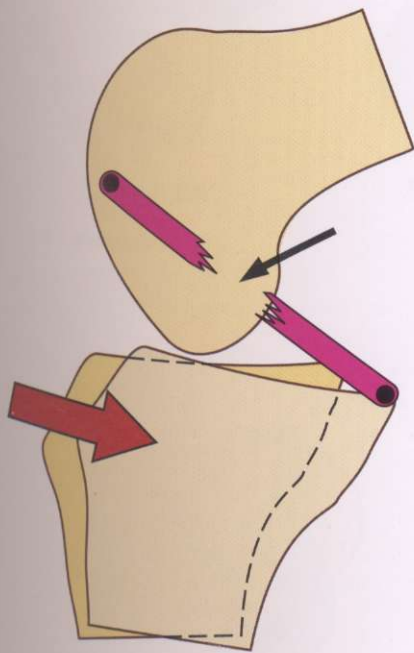


Рис. 200

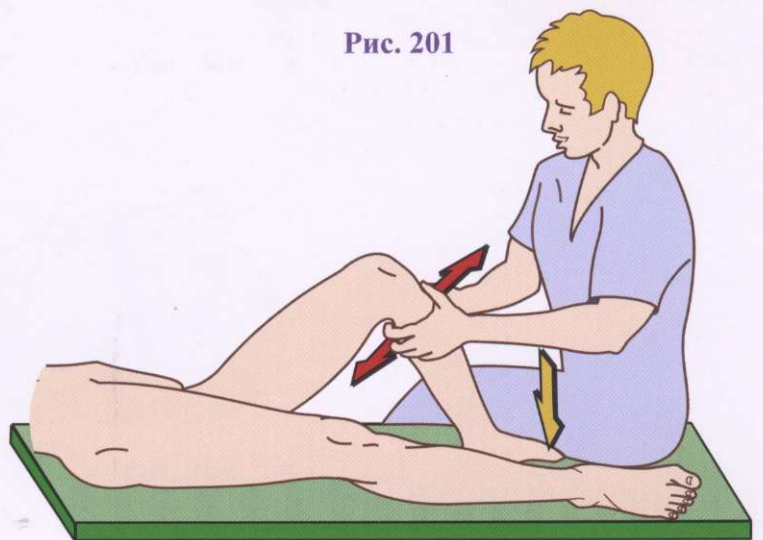


Рис. 202

## Ротационная стабильность коленного сустава во время разгибания

Мы уже знаем, что ротационные движения в коленном суставе происходят только в согнутом его положении. Однако при **полном разгибании осевая ротация невозможна, так как ей препятствуют натянутые латеральные и крестообразные связки.**

На схематическом изображении **коленного сустава при нулевой ротации** (рис. 203, вид спереди, суставные поверхности разобщены в результате чрезмерной растянутости связок) можно видеть, что крестообразные связки проходят крест-накрест, причем благодаря их наклонной ориентации они могут перекручиваться друг с другом (рис. 204). В горизонтальной плоскости (рис. 205, плоскостное изображение, мышечки бедренной кости прозрачные) две крестообразные связки параллельны друг другу.

При **внутренней ротации большеберцовой кости по отношению к бедренной** (рис. 206, вид спереди)

эти связки *отчетливо более скрещены во фронтальной плоскости* (рис. 207), в то время как в горизонтальной плоскости (рис. 208, вид сверху) их аксиальные края находятся во взаимном контакте. Таким образом, они обвиваются вокруг друг друга и растягивают друг друга, как эластичные канаты турникета. В результате этого суставные поверхности сближаются, что **быстро и эффективно противодействует внутренней ротации.**

При **наружной ротации большеберцовой кости по отношению к бедренной** (рис. 209, вид спереди) связки стремятся стать параллельными *во фронтальной плоскости* (рис. 210), тогда как в *горизонтальной плоскости* (рис. 211, вид сверху) их аксиальные края утрачивают контакт. В результате этого «турникет» расслабляется. Таким образом, **наружная ротация не контролируется натяжением крестообразных связок.**



Рис. 206

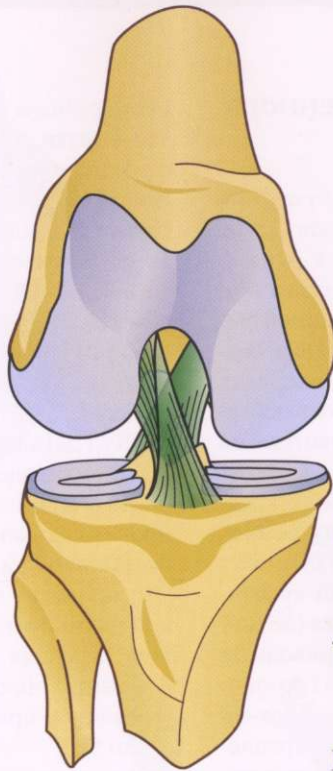


Рис. 203



Рис. 204



Рис. 207



Рис. 210



Рис. 209

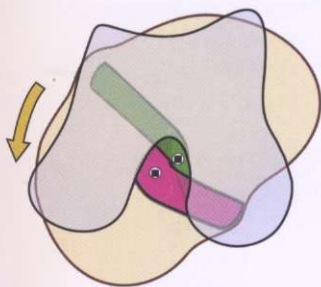


Рис. 208

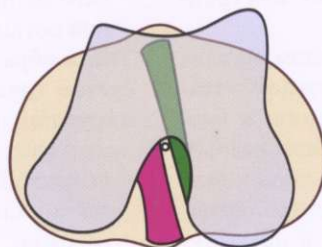


Рис. 205

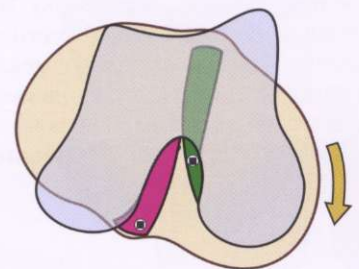


Рис. 211

### **Ротационная стабильность коленного сустава во время разгибания (продолжение)**

Каковы последствия стабильности коленного сустава в положении стоя, к чему неизбежно приводит ротация большеберцовой кости по отношению к бедренной? При полном разгибании коленного сустава возникают следующие **последствия от внутренней ротации большеберцовой кости по отношению к бедренной** (рис. 212, детальный вид сверху, мышелки бедренной кости показаны прозрачными): большеберцовая кость вращается не по окружности с центром на уровне суставной ямки между межмышцелковыми бугорками, а вокруг другого центра, отмеченного крестиком. Этот реальный центр соответствует внутренней поверхности медиального межмышцелкового бугорка. При этом когда центр ротации, отмеченный крестиком (рис. 212), не совпадает с центром сустава (**белый круг**), такое нецентрированное движение приводит к *расслаблению задней крестообразной связки (розового цвета)* и к *натяжению передней крестообразной связки (зеленого цвета)*, натягивается и прикрепление связки к переднему рогу внутреннего мениска, который сдвигается кзади.

Связки приходят во все более плотный контакт (рис. 213, показаны изолированные связки) и все сильнее перекручиваются. Если движение будет продолжаться и дальше (рис. 214, большеберцовая кость ротирована кнутри на 180° искусственным способом), связки окончательно закрутятся, укорачиваясь и сближая большеберцовую и бедренную кости (**черные стрелки**). Это как раз и происходит в реальности - закручивание связок по отношению к друг другу сильно сближает суставные поверхности, что приводит к **блокированию внутренней ротации**.

Внутренняя ротация натягивает переднюю крестообразную связку и расслабляет заднюю.

**Крестообразные связки предотвращают внутреннюю ротацию разогнутого колена.**

С другой стороны, при разогнутом коленном суставе возникают следующие **последствия наружной ротации большеберцовой кости по отношению к бедренной** (рис. 215, вид сверху, мышелки прозрачны): ротация большеберцовой кости по отношению к бедренной происходит вокруг реального центра, отмеченного крестиком, и это движение (как и предыдущее, со смещенным центром) *натягивает заднюю крестообразную связку (розового цвета)* и *расслабля-*

*ет переднюю крестообразную связку (зеленого цвета)*. Связки стремятся стать параллельными (рис. 216), а если продолжить движение наружной ротации (рис. 217, ротация проведена только на четверть), они станут абсолютно параллельны, что позволит немного развести суставные поверхности (**черные стрелки**).

**Крестообразные связки не ограничивают наружную ротацию разогнутого коленного сустава.**

Дональд Сиокум и Роберт Л. Ларсен (Donald Siocum, Robert L. Larsen; книга *J. Bone and Joint Surg.*, март 1968 г.) детально изучили ротационную стабильность согнутого коленного сустава у спортсменов, в частности у футболистов. При резком повороте в сторону, противоположную опорной конечности, коленный сустав испытывает сильнейшую наружную ротацию. Это приводит к следующим повреждениям медиальной части суставной капсулы:

- ее передняя треть особенно часто страдает, если травма сопровождается вальгизацией и наружной ротацией при сгибании в коленном суставе под углом 90°;
- ее задняя треть легко травмируется, если коленный сустав разогнут;
- ее средняя треть, куда вплетаются глубокие волокна большеберцовой коллатеральной связки, повреждается, когда травмирующая сила воздействует на коленный сустав в положении сгибания от 30° до 90°;
- если же коленный сустав согнут под прямым углом и более, передняя крестообразная связка начинает расслабляться на первых 15-20° наружной ротации, а затем опять натягивается и даже может разорваться, закрутившись вокруг аксиальной поверхности наружного мышелка бедренной кости, если ротация будет продолжаться;
- и, наконец, благодаря соединению с большеберцовой костью через капсулу задняя половина внутреннего мениска сама по себе может помешать наружной ротации согнутого коленного сустава.

Таким образом, **воздействие на согнутый коленный сустав травмирующей силы в виде вальгизации и наружной ротации** может последовательно приводить к следующим повреждениям:

- повреждению большеберцовой коллатеральной связки, сначала глубоких, потом поверхностных ее волокон;
- повреждению передней крестообразной связки;
- отрыву внутреннего мениска.

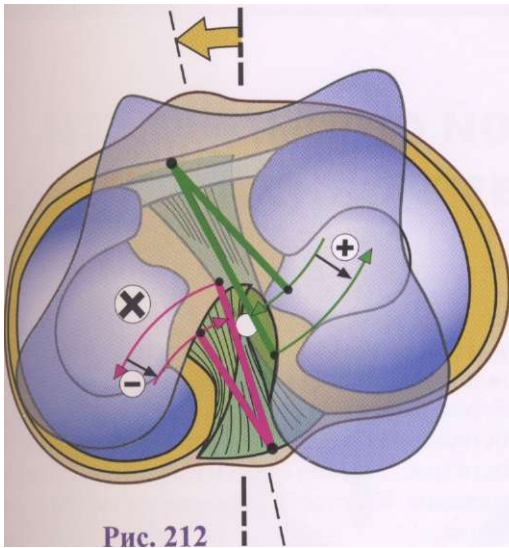


Рис. 212

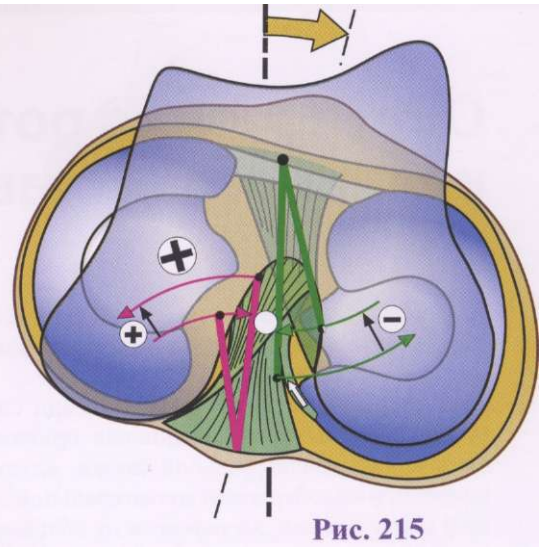


Рис. 215



Рис. 213

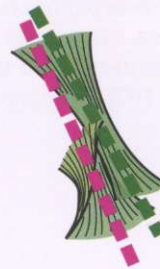


Рис. 216

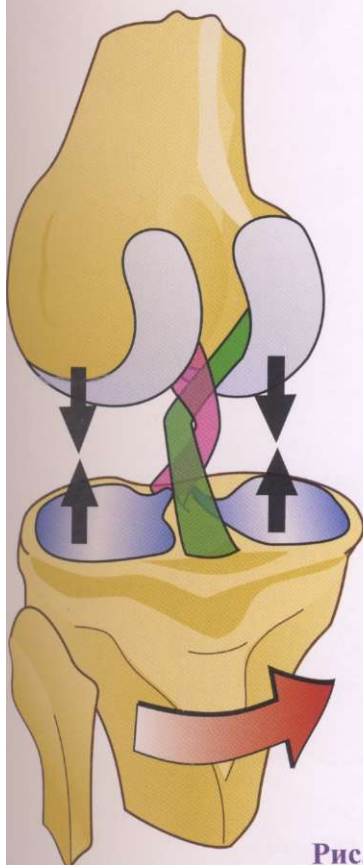


Рис. 214

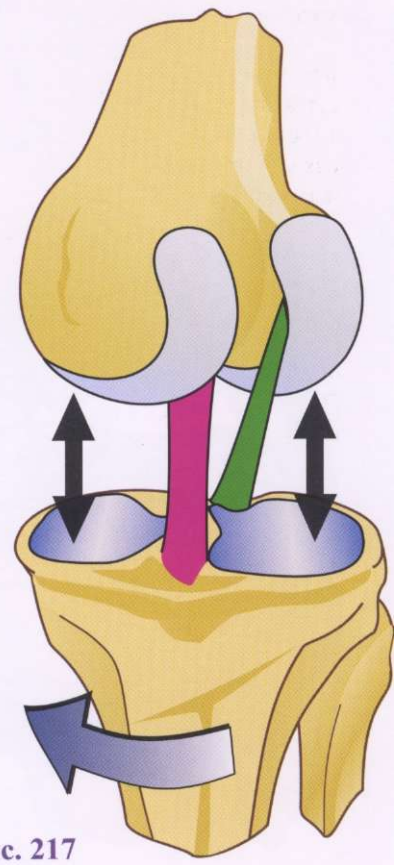


Рис. 217

# Обеспечение ротационной стабильности коленного сустава при разгибании

Роль **коллатеральных связок** в обеспечении ротационной стабильности коленного сустава можно объяснить их симметрией.

**При нулевой ротации** (рис. 218, вид сверху через прозрачные мышечки) наклонная ориентация большеберцовой коллатеральной связки, идущей книзу и кпереди, и малоберцовой коллатеральной связки, идущей книзу и кзади, *заставляет их обвиваться вокруг верхнего конца большеберцовой кости.*

**Внутренняя ротация** (рис. 219) препятствует этому, величина наклона связок уменьшается, и они *становятся более параллельными* (рис. 220, вид сзади и изнутри с разобщенными суставными поверхностями). По мере того как обвитие уменьшается, суставные поверхности уже не столь сильно удерживаются в контакте латеральными связками (рис. 197), и эту роль

берут на себя крестообразные связки. Итак, **«игра», допускаемая расслаблением латеральных связок, контролируется натяжением крестообразных.**

И наоборот, **наружная ротация** (рис. 221) еще более способствует обвитию, что сближает суставные поверхности (рис. 222, вид сзади и изнутри) и ограничивает движения. Крестообразные связки при этом расслабляются.

В итоге можно заключить, что латеральные связки ограничивают наружную ротацию, а крестообразные - внутреннюю.

**Ротационная стабильность коленного сустава в положении разгибания** обеспечивается как латеральными связками при наружной ротации, так и крестообразными связками при внутренней ротации.

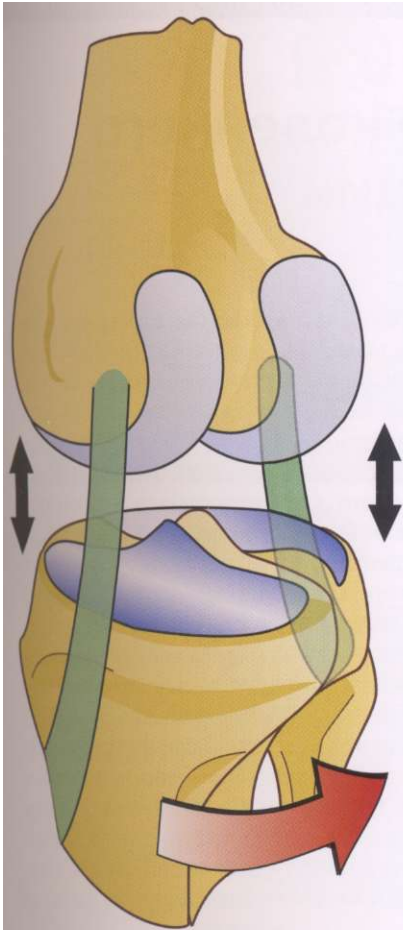


Рис. 220

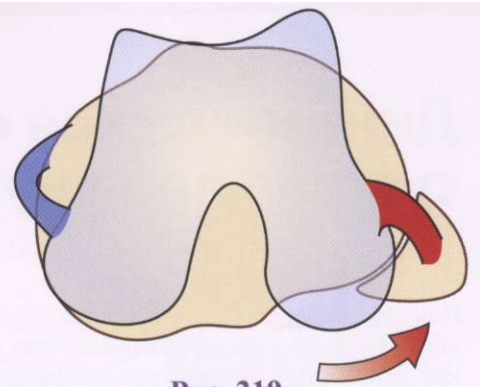


Рис. 219

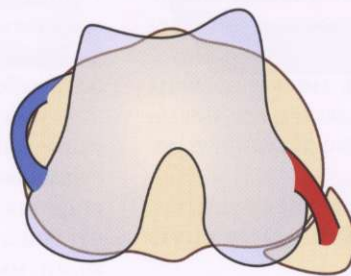


Рис. 218

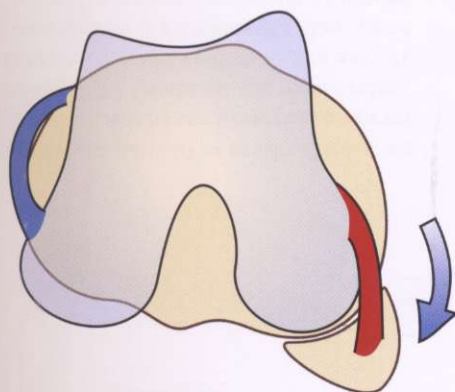


Рис. 221

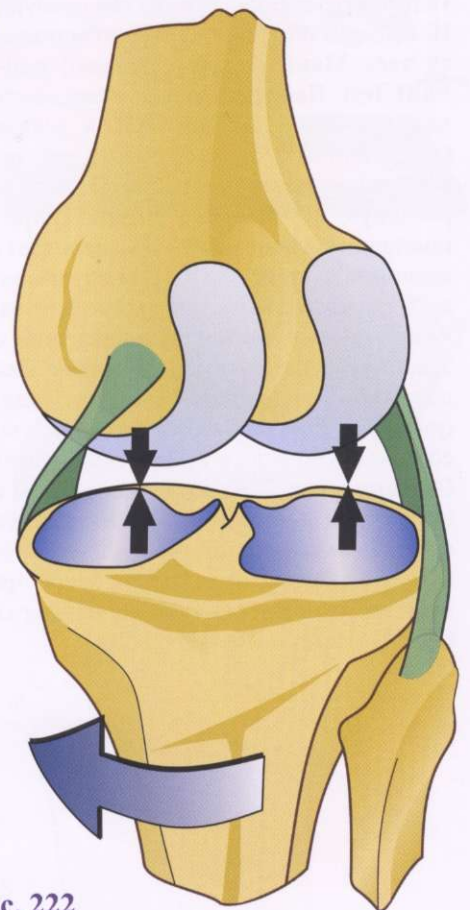


Рис. 222

# Динамическое обследование коленного сустава при внутренней ротации

Помимо классических статических тестов на стабильность коленного сустава, выявляющих **патологические движения в поперечной и переднезадней плоскостях**, существуют общепризнанные **динамические тесты на стабильность** (или нестабильность), демонстрирующие *патологические компоненты исследуемых движений*. Эти тесты столь многочисленны (каждая хирургическая школа предлагает все новые на каждом конгрессе), что лучше всего объединить их в группы и назвать наиболее важные.

Целесообразно разделить эти тесты на **две группы**:

- тесты, сочетающие **вальгусное смещение и внутреннюю ротацию**,
- тесты, сочетающие **вальгусное смещение и наружную ротацию**.

Первая группа включает в себя следующие тесты:

Наиболее известным и широко используемым является **тест МакИнтоша (McIntosh)** или **Lateral Pivot Shift Test**. Пациента укладывают на спину (рис. 223) или на бок под углом  $45^\circ$  к плоскости кушетки (рис. 224). В первом случае рукой, лежащей на подошвенной поверхности стопы, врач создает форсированную внутреннюю ротацию; при этом сам вес приподнятой конечности обеспечивает вальгизацию в коленном суставе. Во втором случае ладонь врача лежит на медиальной поверхности с захватом пятки. Разгибая свою кисть в лучезапястном суставе, он создает внутреннюю ротацию голени. Нейтральным положением коленного сустава будет разгибание (рис. 223). Другой рукой врач толкает колено кпереди, создавая сгибание, и книзу, чтобы увеличить вальгус. Сгибание (рис. 224) идет с некоторым сопротивлением, но при достижении  $25-30^\circ$  флексии ощущается **внезапный скачок**, при этом можно видеть и чувствовать, как наружный мыщелок бедра прыгает кпереди по латеральной части суставной поверхности большеберцовой кости.

Положительный симптом МакИнтоша указывает на **разрыв передней крестообразной связки**. При разогнутом положении коленного сустава внутренняя ротация (рис. 225) *приводит наружный мыщелок бедра в положение заднего подвывиха SLP*, к заднему склону 1 выпуклой поверхности наружной части мыщелка большеберцовой кости. Он удерживается в таком положении напряженной широкой фасцией бедра **FL** и вальгусным смещением. И то и другое удерживает суставные поверхности в тесном контакте. Как только широкая фасция оказывается кпереди от гребня выпуклой латеральной части мыщелка большеберцовой кости, мыщелок бедра фиксируется в положении заднего подвывиха. При дальнейшем сгибании (рис. 226) широкая фасция перемещается кзади от гребня наружной части плато большеберцовой кости, мыщелок скользит по этому гребню **S** и задерживается *среди* на переднем склоне 2, где он контролируется *задней* крестообразной связкой (розового цвета). Важно подчеркнуть, что **и сам пациент ощущает этот внезапный скачок**.

**Тест на скачок Хьюстона (Hughston)** обратен тесту МакИнтоша. Больной лежит на спине (рис. 227) или на боку под углом  $45^\circ$  к плоскости кушетки (рис. 228). Отличие состоит в том, что исходным положением является  $35^\circ$  сгибания, из которого осуществляют разгибание коленного сустава при одновременной его вальгизации и внутренней ротации стопы. Наружный мыщелок бедра (рис. 225) поначалу находится в «преувеличенном» переднем положении (пунктир), где он контактирует с передним склоном выпуклого латерального мыщелка большеберцовой кости 2. Затем он резко перескакивает 1 в положение заднего подвывиха, так как передняя крестообразная связка перестает удерживать его во время разгибания. Таким образом, **положительный симптом Хьюстона также указывает на разрыв передней крестообразной связки**.



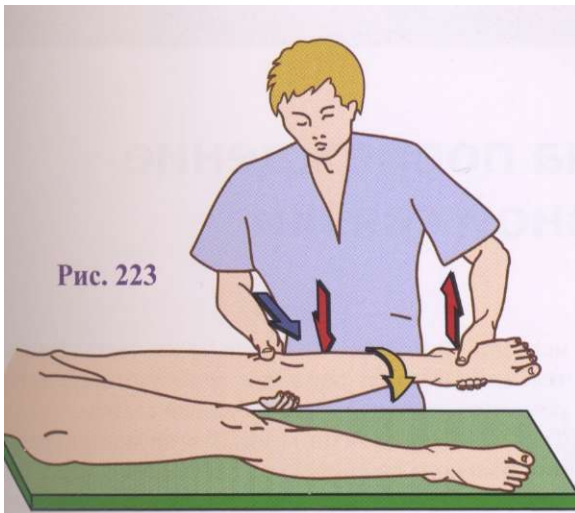


Рис. 223

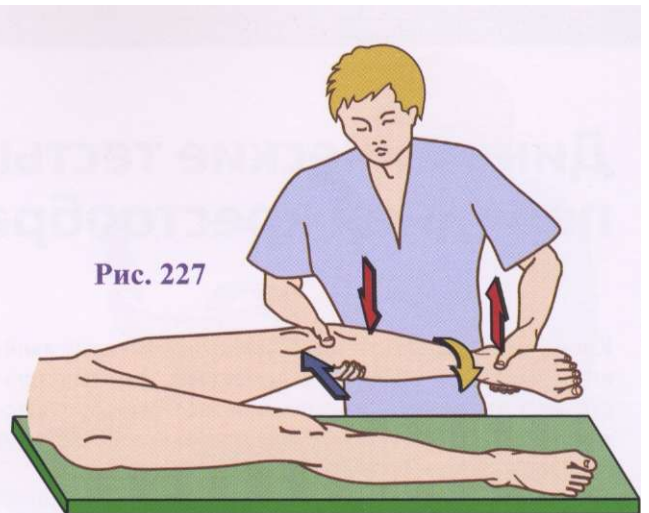


Рис. 227

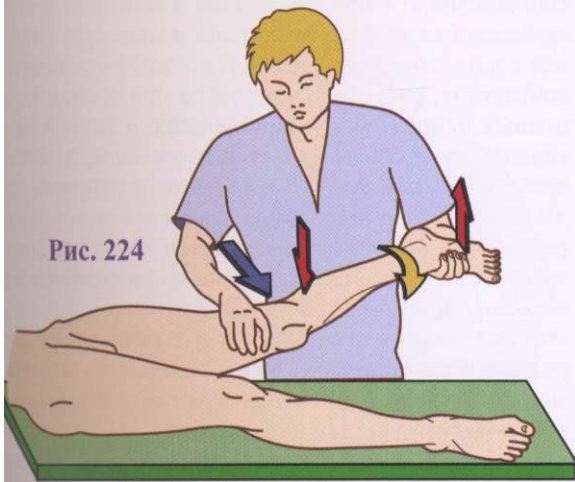


Рис. 224

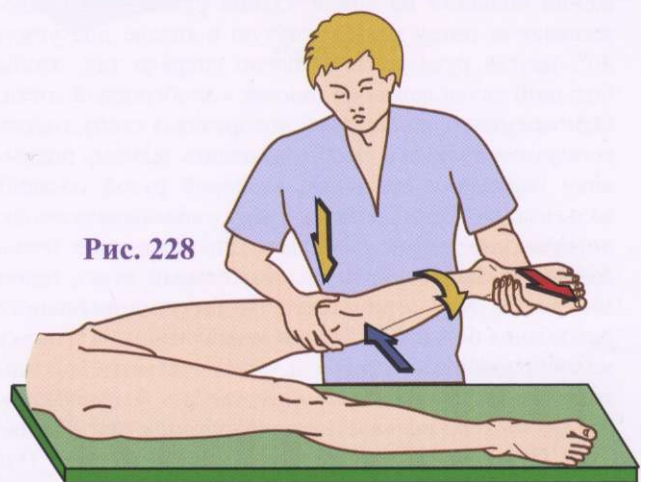


Рис. 228

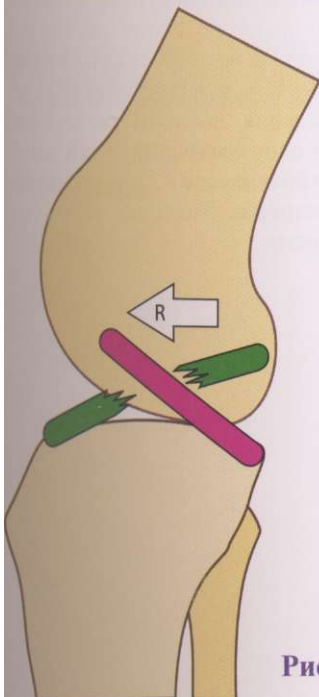


Рис. 226

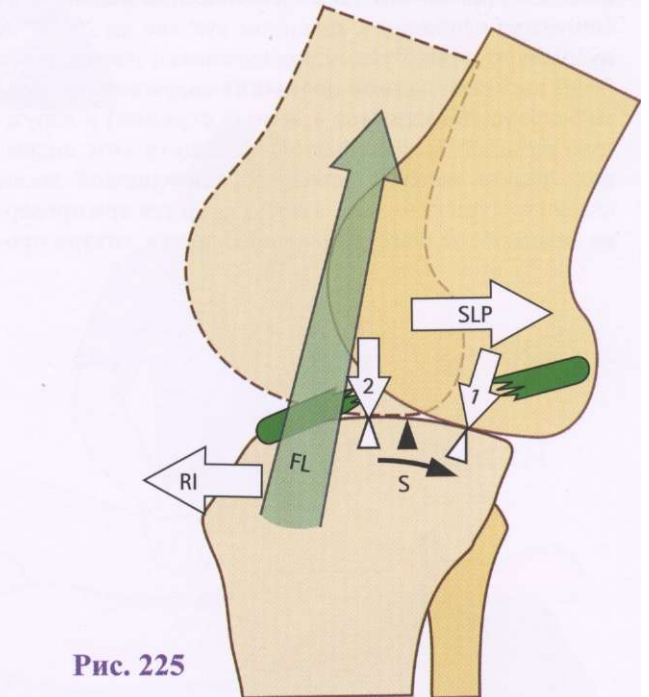


Рис. 225

# Динамические тесты на повреждение передней крестообразной связки

Кроме тестов МакИнтоша и Хьюстона, которые являются наиболее часто используемыми, самыми простыми и надежными из динамических тестов, существуют три других способа диагностики повреждений передней крестообразной связки.

**Тест Лосса (Losse)** (рис. 229) осуществляется в положении больного на спине. Одной рукой врач поддерживает за пятку ногу, согнутую в колене под углом 30°, другая рука держит колено спереди так, чтобы большой палец лежал на головке малоберцовой кости. Одновременно одной рукой поворачивая стопу, голень *ротируют кнаружи*, чтобы помешать заднему подвыиху наружного мыщелка, а второй рукой создают вальгизацию. Врач *разгибает ногу в коленном суставе, позволяя наружную ротацию*. Это сочетание очень важно, чтобы получить положительный ответ, иначе тест всегда будет отрицателен. По достижении полного разгибания большим пальцем надавливают на головку малоберцовой кости кпереди. Ответ считается положительным, если *суставная поверхность большеберцовой кости перескакивает кпереди* к концу разгибания.

**Тест Нуа (Noyes)** или **Flexion Rotation Drawer Test** (рис. 230) проверяют также в положении больного на спине при сгибании в коленном суставе на 20-30° и нулевой ротации. Руками поддерживают голень, и вес бедра вызывает **задний подвыих** наружного мыщелка бедренной кости (**две красные стрелки**) и наружную ротацию бедра. Можно уменьшить этот подвыих, толкая верхний конец большеберцовой кости **кзади (желтая стрелка)**, как это делается при проверке симптома заднего выдвигающего ящика, откуда про-

исходит английское название этого теста. **Положительный** результат теста Нуа также указывает на повреждение передней крестообразной связки.

**Тест Слокума (Slocum)** (рис. 231) проводят в положении больного на спине с полуоборотом к **противоположной** стороне. Врач кладет руки на больную **ногу**. Вес конечности при разгибании в коленном суставе *автоматически дает сочетание вальгусного смещения с внутренней ротацией*. Не нужно **поддерживать** конечность, что особенно удобно при **обследовании** полных пациентов. Руками, лежащими **выше и ниже** колена, врач осуществляет его сгибание, **усиливая** вальгусное смещение. Как и в тесте МакИнтоша, *при 30—40° сгибания* происходит **внезапный скачок**, а при разгибании провоцируется симптом Хьюстона. **Положительный** тест Слокума указывает на **повреждение передней крестообразной связки**.

Эти пять тестов очень важны для диагностики **повреждений** передней крестообразной связки, но нужно знать два условия, при которых они *утрачивают свою надежность*:

- у молодых девушек с выраженной слабостью **связочного** аппарата суставов они могут оказаться **ложноположительными**, поэтому **обязательно сравнить со вторым коленным суставом**, где **связки** также могут оказаться слабыми;
- при тяжелых повреждениях задне-внутреннего **фиброзно-сухожильного** слоя связки **наружный мыщелок** перестает контролироваться **форсированным вальгусом**, и демонстрация симптома может **быть** существенно затруднена.

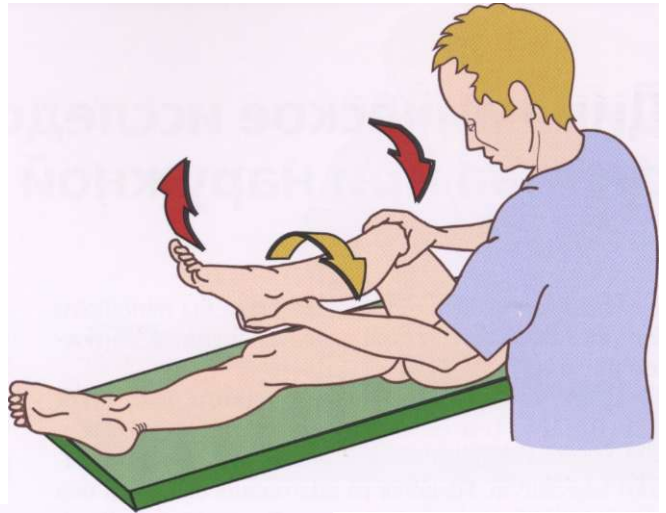


Рис. 229

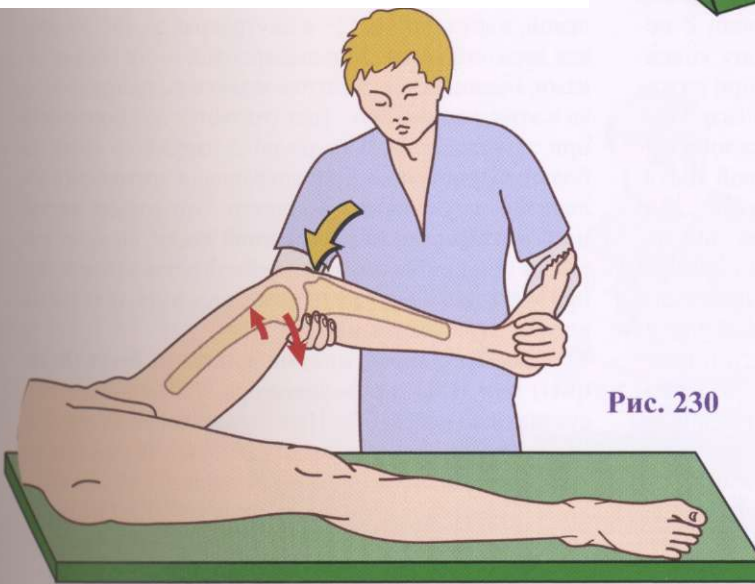


Рис. 230

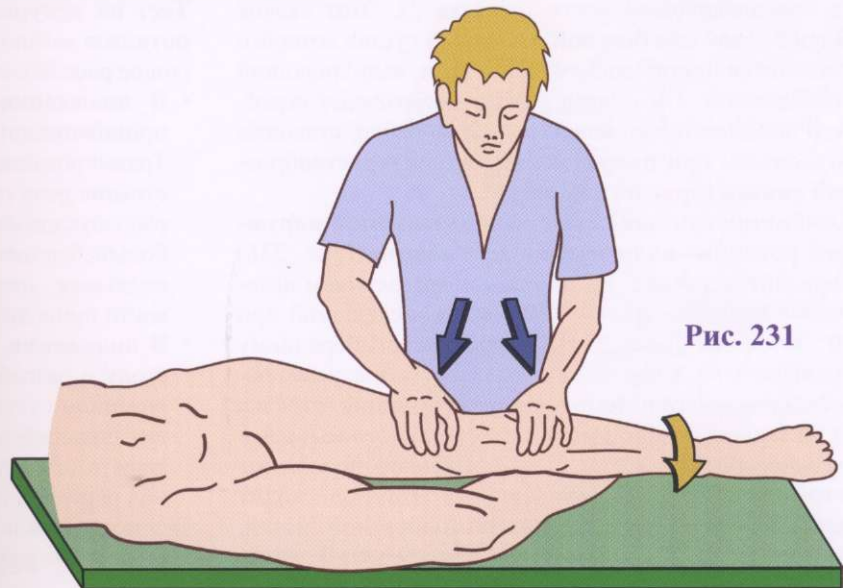


Рис. 231

# Динамическое исследование коленного сустава при наружной ротации

Исследование коленного сустава было бы неполным без динамических тестов с подключением наружной ротации.

Проверку симптома обратного сдвига или **Pivot Shift Reverse Test** (рис. 232) проводят так же, как и тест МакИнтоша, но вместо внутренней ротации задают наружную. Начиная из положения сгибания под углом 60-90°, постепенное разгибание голени с непрерывным давлением на наружную сторону коленного сустава приводит к появлению скачка при разгибании на 30° (рис. 233). Он связан с *внезапным сдвигом наружного мыщелка бедра* на заднем склоне выпуклого наружного мыщелка большеберцовой кости. При *сгибании ротированной кнаружи голени* (рис. 235) наружный мыщелок, уже не удерживаемый при наружной ротации **RE** задней крестообразной связкой (**красного цвета**), переходит в положение переднего подвывиха **SLA** на переднем склоне выпуклой поверхности наружного мыщелка бедренной кости (стрелка 1). При дальнейшем разгибании (рис. 234) подвздошно-бедренный тракт **TFL** перемещается кпереди к точке контакта между мыщелками бедренной и большеберцовой костей. В результате наружный мыщелок перемещается кзади (рис. 235) в нормальное положение (**пунктир**) и резко перескакивает через гребень плато **S**, оказываясь на заднем склоне мыщелка большеберцовой кости (стрелка 2). Этот скачок ощущает как сам больной, коленный сустав которого становится нестабильным, так и врач, выполняющий исследование. Он вызван *резким вправлением переднего подвывиха наружного мыщелка бедра*, ставшего возможным при **повреждении задней крестообразной связки (красного цвета)**.

**Комбинированный тест с использованием наружной ротации, вальгизации и сгибания** (рис. 236) проводится так же, но *исходным положением является полное разгибание*. Скачок, происходящий при 30° сгибания (рис. 235), соответствует переднему подвывиху **SLA** наружного мыщелка бедра, резко перескакивающего из нормального положения (стрелка 2) на заднем склоне выпуклого суставного мыщелка большеберцовой кости в ненормальное положение (стрелка 1) на переднем склоне. Это происходит только после разрыва задней крестообразной связки. Еще три теста для диагностики **повреждений задне-**

**наружного листка и малоберцовой коллатеральной связки** при интактной задней крестообразной связке.

**Тест задненаружного выдвижного ящика (Хьюстона (Hughston) или Postero-Lateral Drawer Test)** выполняется так: стопа стоит на кушетке, бедро согнуто под углом 45°, голень - 90°. Сев на стопу (рис. 202, стр. 145), врач проводит исследования в ротациях: нулевой, наружной на 15° и внутренней на 15°. Удерживая верхний конец большеберцовой кости обеими руками, оценивается симптом заднего выдвижного ящика в этих положениях. Тест считается положительным при задненаружном подвывихе наружного мыщелка большеберцовой кости и сохранении правильного положения внутреннего мыщелка. Это создает **истинный ротационный выдвижной ящик**, он менее выражен при приближении к нулевой ротации и исчезает при внутренней, когда натягивается интактная задняя крестообразная связка.

**Тест латеральной гипермобильности Буске (Bousquet) или НМЕ** проводится при сгибании коленного сустава под углом 60°. При надавливании на верхний конец большеберцовой кости с попыткой сместить ее книзу и кзади по отношению к мыщелкам бедра ощущается задний скачок, когда стопу ротируют кнаружи. Это, опять-таки, пример *истинного симптома выдвижного ящика в наружной ротации*.

**Тест на рекурвацию (наклон назад) и наружную ротацию** можно осуществлять двояко, обеспечив хорошее расслабление четырехглавой мышцы бедра.

- **В положении разгибания.** Нижние конечности приподнимают, удерживая за переднюю часть стоп. Травмированная конечность при этом придет в состояние genu recurvatum и наружной ротации, которые обусловлены смещением передней бугристости большеберцовой кости кнаружи. Задненаружный подвывих наружного мыщелка большеберцовой кости приводит к genu valgum.
- **В положении сгибания.** Одна рука поддерживает стопу и разгибает ногу в колене. Рука, лежащая на коленном суставе, ощущает задненаружный подвывих большеберцовой кости, проявляющийся в виде genu recurvatum, genu valgum и латерального смещения передней бугристости большеберцовой кости. Эти исследования затрудняются, если больной напряжен, но легко осуществляются под общей анестезией.

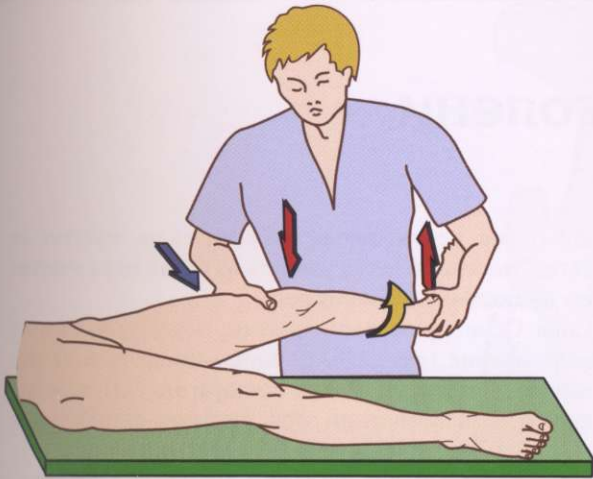


Рис. 233

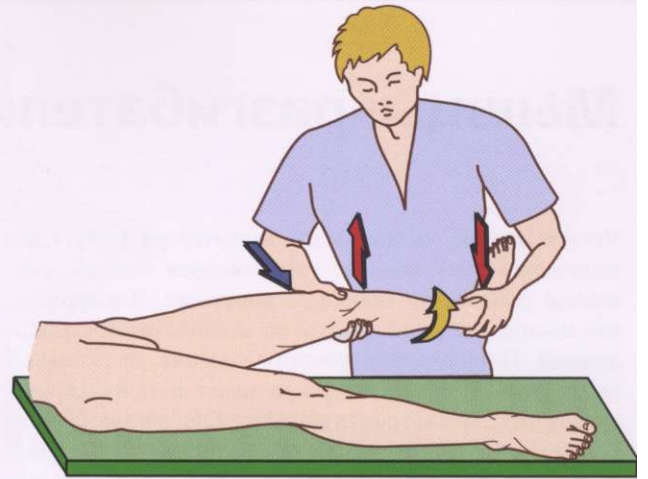


Рис. 236

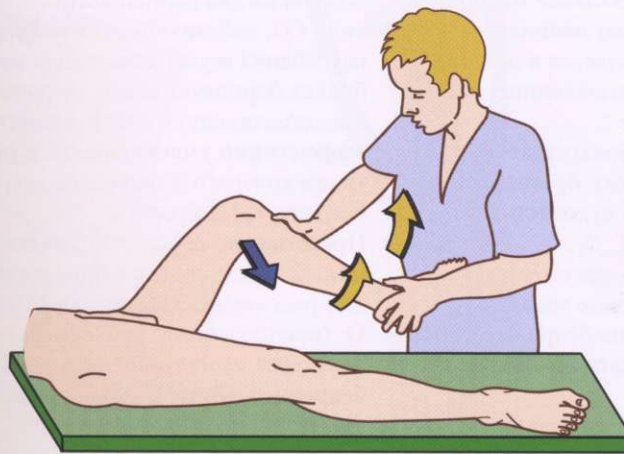


Рис. 232

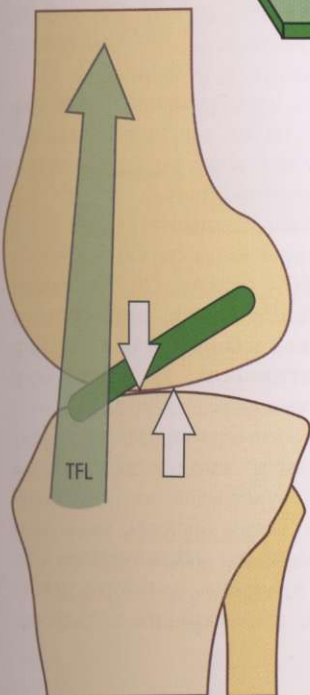


Рис. 234

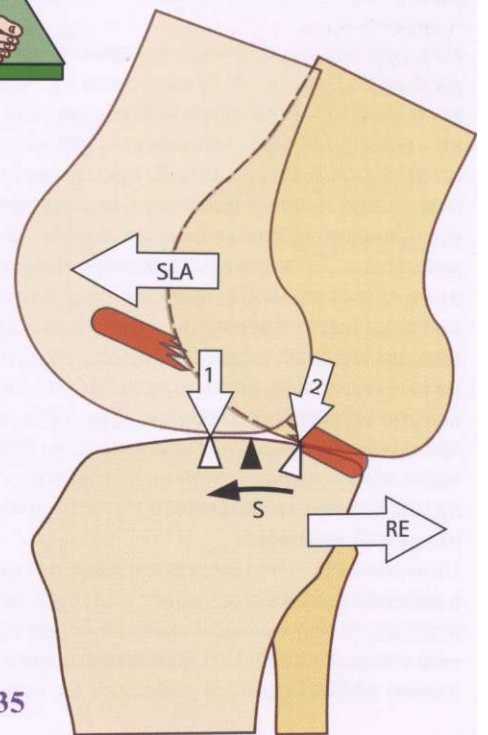


Рис. 235

# Мышцы-разгибатели голени

Четырехглавая мышца бедра является **разгибателем коленного сустава**. Это единственная мышца, способная произвести подобное движение. Четырехглавая мышца является *второй по мощности* после ягодичной. Площадь поперечного сечения ее активной части равна 148 см<sup>2</sup>, она укорачивается на 8 см и развивает силу, эквивалентную 42 кг. Она *втрое сильнее сгибателей*, чего и следовало ожидать, так как эта мышца вынуждена постоянно противодействовать силе тяжести. Однако, как мы уже видели, при гиперэкстензии в коленном суставе для поддержания вертикального положения тела четырехглавая мышца не нужна (см. стр. 128), но, как только начинается малейшее сгибание, она активно включается в действие, чтобы предупредить падение, обусловленное сгибанием ноги в колене.

Как следует из ее названия, четырехглавая мышца (рис. 237) имеет **четыре мышечных брюшка**, прикрепляющихся с помощью общего сухожилия к бугристости большеберцовой кости ТТ:

- Три *моносуставные мышцы*, промежуточная 1, латеральная 2 и медиальная 3, широкие мышцы
- Одна *двусуставная*: прямая мышца бедра 4. Ее специфическая функция будет описана на следующей странице.

Все три односуставные мышцы являются *исключительно разгибателями коленного сустава*, но обладают и некоторой латеральной составляющей - у широких мышц. Следует упомянуть, что медиальная мышца является более мощной, простирается дистальнее, чем латеральная, и благодаря своему относительному преобладанию *препятствует наружному вывиху надколенника*. В норме сбалансированное сокращение этих широких мышц создает результирующую силу, направленную вверх по продольной оси бедра. Но при дисбалансе, если, например, латеральная мышца преобладает над неполноценной медиальной, надколенник смещается кнаружи. Это один из механизмов *привычного вывиха надколенника*, который *всегда бывает латеральным*. Можно устранить эту тенденцию путем **целенаправленного укрепления медиальной широкой мышцы**.

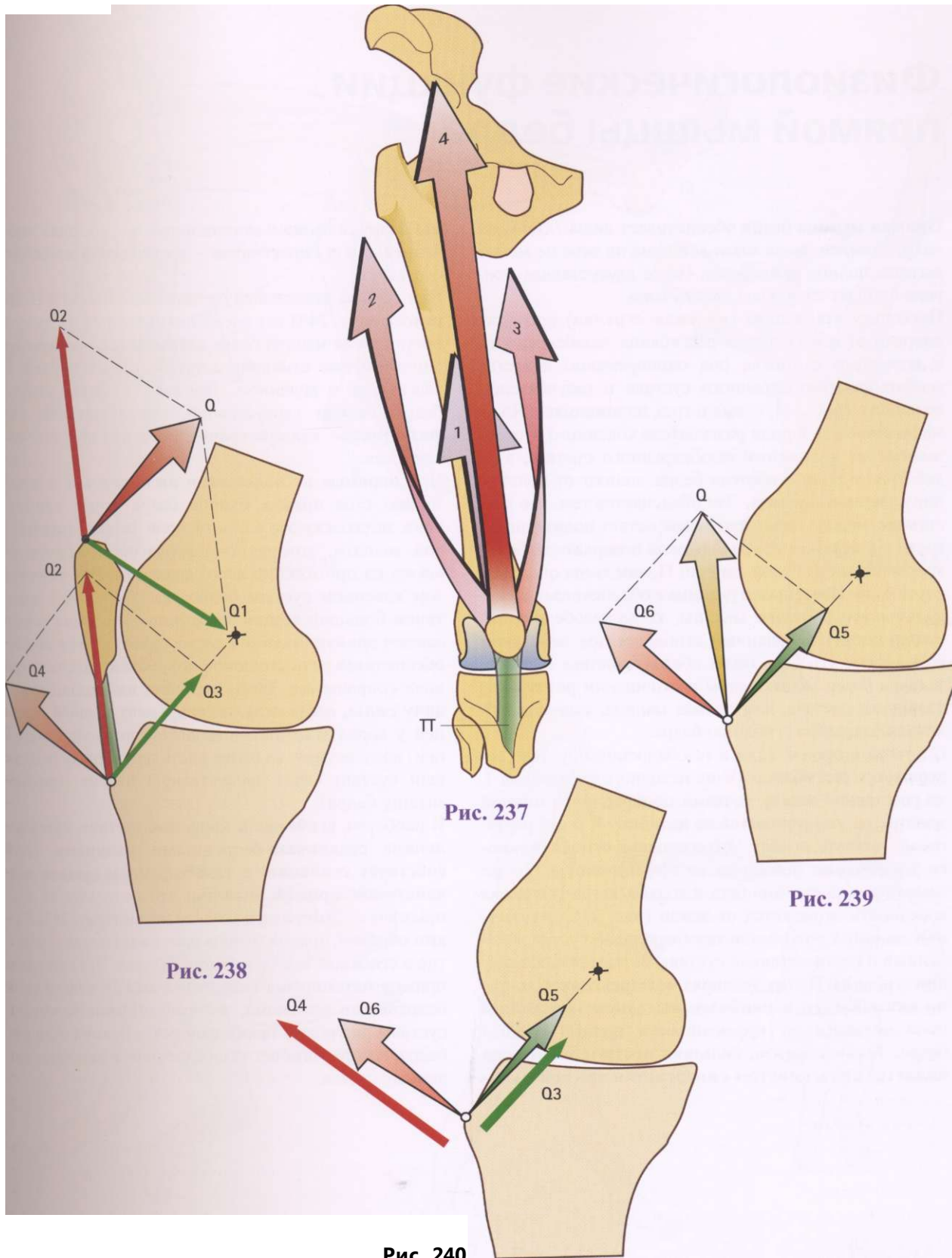
Надколенник — это **сесамовидная кость**, включенная в **разгибательный аппарат колена** и окутанная сухожилием четырехглавой мышцы бедра сверху и коленной связкой снизу. Его **функция** заключается в повышении эффективности действия четырехглавой мыш-

цы путем перемещения кпереди силы действия ее тяги. Это можно легко увидеть на **схеме сил с участием надколенника и без него**.

Сила **Q** четырехглавой мышцы, действующая на надколенник (рис. 238, схема с надколенником), может быть разложена на два вектора: силу **Q1**, действующую в направлении оси сгибания-разгибания и стремящуюся прижимать надколенник к блоку, и силу **Q2**, действующую по линии связки надколенника. В свою очередь, сила **Q2**, действующая на бугристость большеберцовой кости, также может быть разложена на два перпендикулярных друг другу вектора: силу **Q3**, действующую в направлении оси сгибания-разгибания и удерживающую в контакте бедренную и большеберцовую кости, и тангенциальную силу **Q4**, представляющую собой **единственный компонент, эффективно участвующий в разгибании**, под действием которого *большеберцовая кость перемещается кпереди под бедренной*.

Представим себе, что надколенник был **удален** (рис. 239, схема, где осуществлена его резекция). Будем рассуждать так же, как рассуждали раньше. Сила **Q** (предположим, что она равна прежней силе **Q**) действует тангенциально к надколенной поверхности бедренной кости и *прямо по отношению к передней бугристости большеберцовой кости*. Поэтому ее можно разложить на два вектора: **Q5**, который прижимает большеберцовую кость к бедренной, и **Q6** - единственный компонент, осуществляющий разгибание. Обратите внимание на то, что тангенциальный компонент **Q6** относительно ослаблен, а центростремительный компонент **Q5** относительно усилен.

Теперь сравним эффективные силы в этих двух ситуациях (рис. 240, комбинированная схема) и отчетливо увидим, что **Q4** на 50% больше **Q6**, тем самым становится ясно, что **надколенник, приподнимая сухожилие четырехглавой мышцы, как на козлах, увеличивает ее эффективность**. Из этого также следует, что при отсутствии надколенника сила контактирования **Q5** возрастает, но этот благоприятный эффект нивелируется уменьшением амплитуды сгибания вследствие укорочения сухожилия четырехглавой мышцы и ее хрупкости. Таким образом, **надколенник является очень полезным механическим элементом**, поэтому к его удалению стараются прибегать как можно реже, и эта **операция пользуется дурной репутацией**.



# Физиологические функции прямой мышцы бедра

**Прямая мышца бедра** обеспечивает лишь  $1/5$  общей силы *четырёхглавой мышцы* и сама по себе не может вызвать полное разгибание. Но ее двусуставная природа придает ей *особую значимость*.

Поскольку эта мышца (**красная стрелка**) проходит кпереди от оси сгибания-разгибания тазобедренного и коленного суставов, она одновременно является сгибателем тазобедренного сустава и разгибателем коленного (рис. 241, схема в трех положениях). Но ее эффективность в роли разгибателя коленного сустава зависит от положения тазобедренного сустава, а ее действие в роли сгибателя бедра зависит от положения коленного сустава. Это объясняется тем, что расстояние между передневерхней остью подвздошной кости **a** и верхним краем блоковой поверхности бедра короче **ас**, когда бедро согнуто **II**, чем когда оно разогнуто **I, ab**. Имеющаяся разница  $e$  обеспечивает *относительное* удлинение мышцы, когда тазобедренный сустав согнут и коленный сгибается под действием веса голени **III**. При таких обстоятельствах *широкие мышцы более эффективны* в отношении разгибания коленного сустава, чем прямая мышца, уже расслабленная благодаря сгибанию бедра.

С другой стороны, если в тазобедренном суставе совершается разгибание **IV** из исходного положения **I**, то расстояние между точками прикрепления прямой мышцы  $ad$  увеличивается на величину  $f$ , и это растягивает прямую мышцу. Это состояние *относительного укорочения* повышает ее эффективность. То же самое происходит при беге и ходьбе, когда толчковая конечность отрывается от земли (рис. 245): **ягодичные мышцы разгибают** тазобедренный сустав, а коленный и голеностопный суставы остаются в положении сгибания. В этих условиях **четырёхглавая мышца оказывается в наиболее выгодном положении** из-за повышенной эффективности прямой мышцы бедра. Таким образом, **большая ягодичная мышца является антагонистом-синергистом прямой мыш-**

**цы бедра**, а именно антагонистом в отношении тазобедренного и синергистом - в отношении коленного сустава.

При отрыве конечности от плоскости опоры и ее переносе (рис. 244) таз временно опирается на другую ногу, прямая мышца бедра сокращается, обеспечивая одновременно сгибание в тазобедренном суставе и разгибание в коленном. Тем самым прямая мышца бедра, будучи двусуставной, **используется в обе фазы шага** — как при толчке, так и при переносе конечности.

При **переходе от положения на корточках** к положению стоя прямая мышца бедра играет важную роль, поскольку это единственная часть *четырёхглавой мышцы*, которая *сохраняет свою эффективность* на протяжении всего движения. При разогнутом коленном суставе бедро разгибается под действием большой ягодичной мышцы, что *вновь натягивает прямую мышцу* в точке ее начала, тем самым обеспечивая ее постоянную длину на начальных стадиях сокращения. Здесь мы опять наблюдаем **передачу силы**, когда сила, генерируемая мощной мышцей у корня конечности (большой ягодичной мышцей) воздействует на более дистальную точку (коленный сустав) через двусуставную мышцу (прямую мышцу бедра).

И наоборот, **сгибание в коленном суставе, обусловленное седалищно-бедренными мышцами, способствует сгибанию в тазобедренном суставе под действием прямой мышцы**, что используется при прыжках с согнутыми в коленях ногами (рис. 243). Таким образом, прямая мышца принимает немалое участие в сгибании тазобедренного сустава. Это еще один пример антагонизма-синергизма между седалищно-бедренными мышцами, которые сгибают коленный сустав и разгибают тазобедренный, и прямой мышцей бедра, которая сгибает тазобедренный и разгибает коленный сустав.



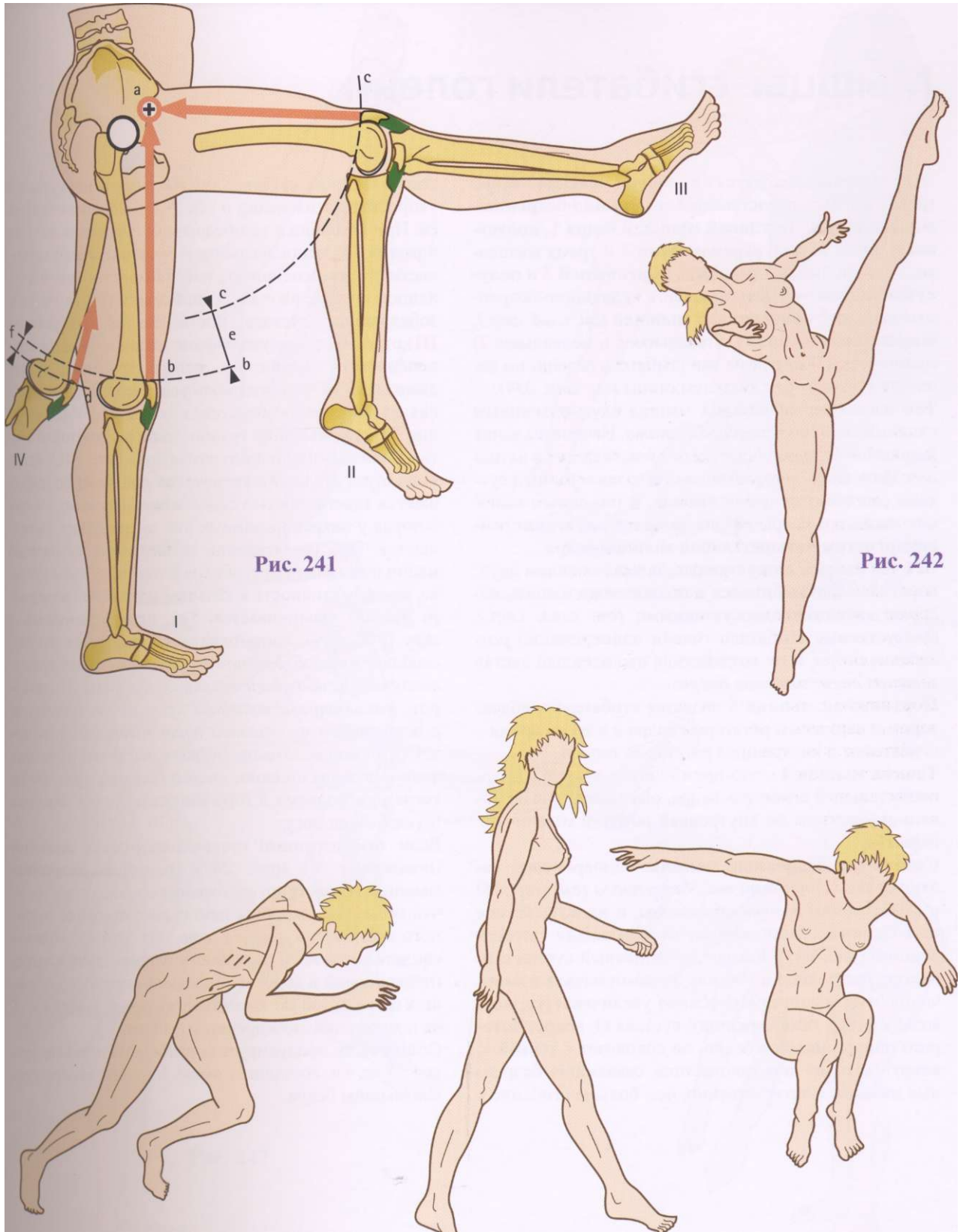


Рис. 241

Рис. 242

Рис. 245

Рис. 244

Рис. 243

## Мышцы-сгибатели голени

Эти мышцы находятся в заднем отделе бедра (рис. 246). Они представлены **седалищно-бедренными мышцами: двуглавой мышцей бедра 1, полусухожильной 2, полуперепончатая 3** и тремя мышцами гусиной лапки - **тонкой 4, портняжной 5 и полусухожильной** (принадлежащей к седалищно-бедренным), а также **подколенной мышцей** (см. след. стр.). **Икроножная мышца** (латеральная 6 и медиальная 7) практически бесполезна как сгибатель голени, но является мощным разгибателем стопы (см. стр. 234).

Тем не менее икроножная мышца служит мощным стабилизатором коленного сустава. Начинаясь выше мышечков бедренной кости, она сокращается в активную фазу шага, когда коленный и голеностопный суставы разгибаются одновременно, и тем самым выносит мышечки вперед. Она является **антагонистом-синергистом четырехглавой мышцы бедра**.

Все эти мышцы двусуставные, за исключением двух: короткая головка бицепса и подколенная мышца, которые являются односуставными (см. след. стр.). Двусуставные сгибатели голени одновременно *разгибают бедро*, и их воздействие на коленный сустав *зависит от положения бедра*.

**Портняжная мышца 5** является сгибателем, абдуктором и наружным ротатором бедра и в то же время - сгибателем и внутренним ротатором голени.

**Тонкая мышца 4** - это прежде всего аддуктор и дополнительный сгибатель бедра, она также сгибает голень и участвует во внутренней ротации голени (см. стр. 164).

**Седалищно-бедренные мышцы** одновременно являются *разгибателями тазобедренного* (см. стр. 56) и *сгибателями коленного сустава*, и их воздействие на коленный сустав зависит от положения тазобедренного (рис. 247). Когда тазобедренный сустав сгибается, расстояние  $ab$  между точками начала и окончания этих мышц прогрессивно увеличивается, поскольку центр тазобедренного сустава **O**, вокруг которого поворачивается бедро, не совпадает с точкой **a**, вокруг которой поворачиваются седалищно-бедренные мышцы. Соответственно, чем больше сгибание в

тазобедренном суставе, тем больше относительное укорочение этих мышц и тем *более они натягиваются*. При сгибании в тазобедренном суставе на  $40^\circ$  (положение **II**), относительное укорочение мышц можно частично компенсировать пассивным сгибанием в коленном суставе  $ab = ab'$ . Однако, когда сгибание в тазобедренном суставе достигает  $90^\circ$  (положение **III**), относительное укорочение мышц не удастся компенсировать полностью, согнув коленный сустав даже на  $90^\circ$  ( $\Gamma$  = «остагочное» укорочение). Если флексия в тазобедренном суставе превышает  $90^\circ$  (положение **IV**), чрезвычайно трудно удержать коленный сустав в положении полного разгибания (рис. 248): величина относительного укорочения  $g$  полностью поглощается эластичностью седалищно-бедренных мышц, которая у нетренированных лиц существенно уменьшается. При растягивании подколенных сухожилий мышц под влиянием сгибания в тазобедренном суставе, их эффективность в качестве сгибателей коленного сустава увеличивается. Так, при *восхождении в гору* (рис. 249), когда одна нога выносится вперед, *сгибание в тазобедренном суставе повышает эффективность сгибателей коленного сустава*. И наоборот, *разгибание в коленном суставе способствует разгибательному влиянию этих мышц на тазобедренный сустав*. Это происходит, когда мы пытаемся выпрямить наклоненное вперед туловище (рис. 248) и когда при подъеме в гору выносим вперед находившуюся сзади ногу.

Если тазобедренный сустав *максимально разогнут* (положение **V**) (рис. 247), седалищно-бедренные мышцы демонстрируют *относительное удлинение*  $e$ , что объясняет относительно слабое сгибание коленного сустава (см. рис. 13, стр. 85). Эти наблюдения свидетельствуют о полезности односуставных мышц (подколенной и короткой головки бицепса), обладающих одной и той же эффективностью вне зависимости от положения тазобедренного сустава.

Общая сила, продуцируемая сгибателями, эквивалентна 15 кг, т.е. составляет около 1/3 силы четырехглавой мышцы бедра.

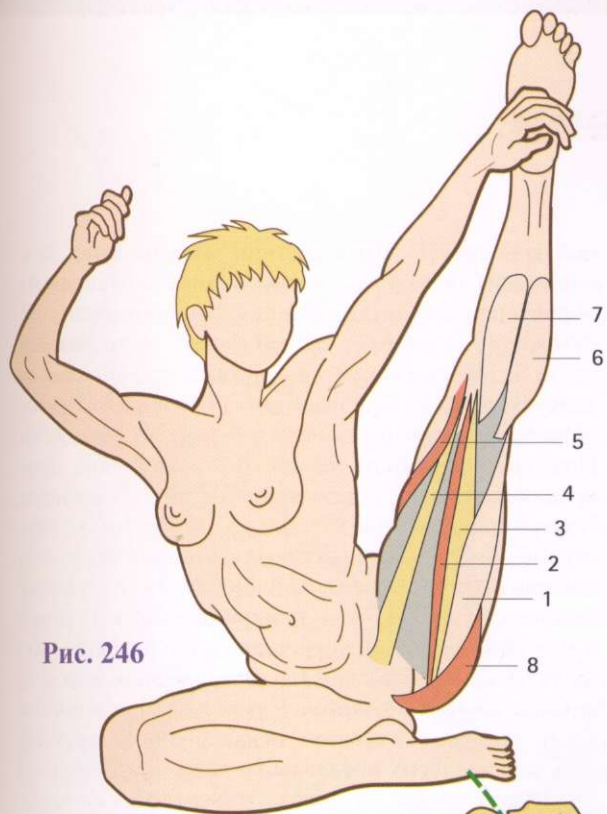


Рис. 246

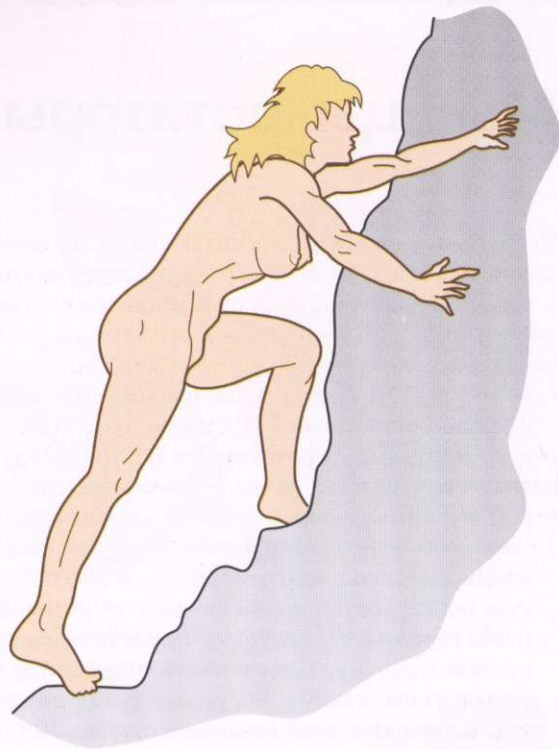


Рис. 249

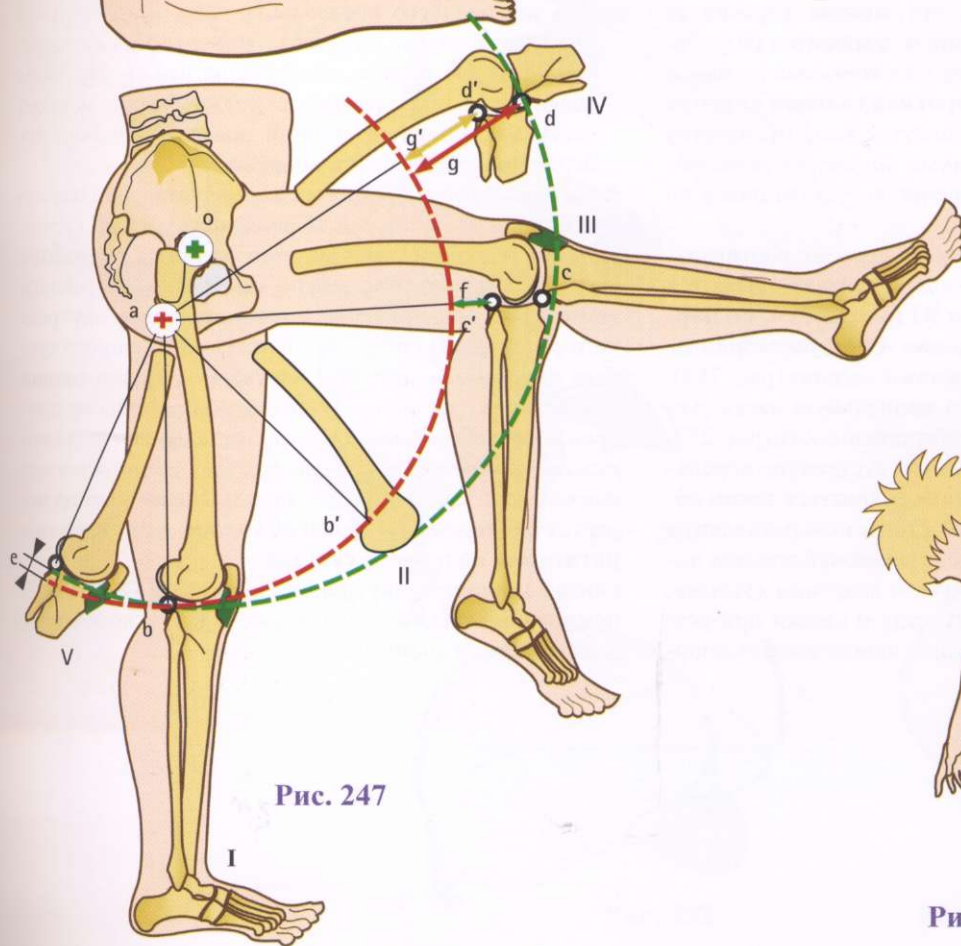


Рис. 247

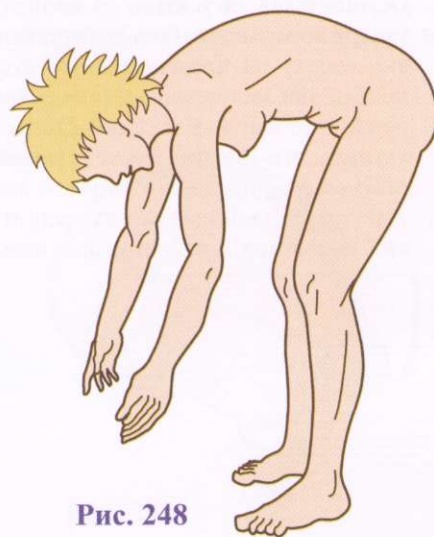


Рис. 248

# Мышцы-ротаторы голени

Сгибатели одновременно являются ротаторами коленного сустава. Их можно разделить на **две группы** в зависимости от места их прикрепления к берцовым костям (рис. 250, вид сзади и изнутри на согнутое колено).

- Те мышцы, что прикрепляются *кнаружи* от вертикальной оси ротации ХХ' коленного сустава, являются **наружными ротаторами RE** (рис. 253) - это **двуглавая мышца бедра 1** и **напрягатель широкой фасции 2**. Когда они тянут латеральную часть суставной поверхности большеберцовой кости кзади (рис. 251, вид сверху на проксимальную суставную поверхность), то заставляют ее ротироваться таким образом, что *кончики пальцев стоп поворачиваются кнаружи*. **Напрягатель широкой фасции** является сгибателем и наружным ротатором только при полном сгибании коленного сустава. Когда сустав полностью разогнут, эта мышца утрачивает свою ротирующую функцию и становится разгибателем, т.е. помогает «замкнуть» коленный сустав в *положении разгибания*. **Короткая головка бицепса** (рис. 254, вид снаружи на согнутое колено) является **единственным односуставным наружным ротатором**, и положение тазобедренного сустава никак не сказывается на ее функции.
- Мышцы, прикрепляющиеся *кнутри* от вертикальной оси ротации хх' коленного сустава, являются **внутренними ротаторами RI** (рис. 253) - это **портняжная 3**, **полусухожильная 4**, **полумембранозная 5**, **тонкая 6** и **подколенная 7** мышцы (рис. 254). Осуществляя тягу кзади за медиальную часть суставной поверхности большеберцовой кости (рис. 252, вид сверху на проксимальную суставную поверхность), они заставляют ее поворачиваться таким образом, что кончики пальцев стопы поворачиваются *кнутри*. Эти мышцы также *противодействуют наружной ротации при согнутом коленном суставе*, тем самым защищая его капсулу и связки при резких поворотах в сторону, противоположную опор-

ной конечности. **Подколенная мышца** (рис. 256, вид сзади) является единственным исключением из общего правила распределения функции мышц. Ее сухожилие отходит от задней поверхности нижней части бедренной кости и вскоре входит в суставную капсулу, проходя под аркой, которую образует дугообразная подколенная связка (см. рис. 161, стр. 129). Подколенная мышца также отсылает пучок, прикрепляющийся к заднему краю наружного мениска. Внутри капсулы, но все еще *за пределами синовиальной оболочки*, мышца проскальзывает между малоберцовой коллатеральной связкой и наружным мениском (рис. 254) и прикрепляется в глубине *ямки*, занимаемой нижней частью латерального мыщелка бедренной кости. Это **единственная моносуставная мышца внутренней ротации**. Ее действие не подвержено влиянию тазобедренного сустава. Это можно легко представить себе, глядя на рис. 255, где показана суставная поверхность большеберцовой кости, если смотреть на нее сверху. Подколенная мышца (**синяя стрелка**) тянет заднюю часть дистальной суставной поверхности большеберцовой кости кзади и кнаружи.

Хотя она лежит кзади от коленного сустава, подколенная мышца является **разгибателем коленного сустава**. При сгибании точка ее прикрепления смещается кверху и кпереди (рис. 254) и тянет за собой мышцу, тем самым увеличивая ее возможности как внутреннего ротатора. В согнутом положении коленного сустава или, еще лучше, при наружной ротации голени вследствие сокращения подколенной мышцы ее прикрепление перемещается книзу и кзади, заставляя **наружный мыщелок скользить, как это происходит при разгибании**. Таким образом, **подколенная мышца является одновременно и разгибателем, и внутренним ротатором коленного сустава**.

Общая мощность внутренних ротаторов (2 кг) лишь немного больше, чем наружных (1,8 кг), но влияние диспропорции очень слабо.

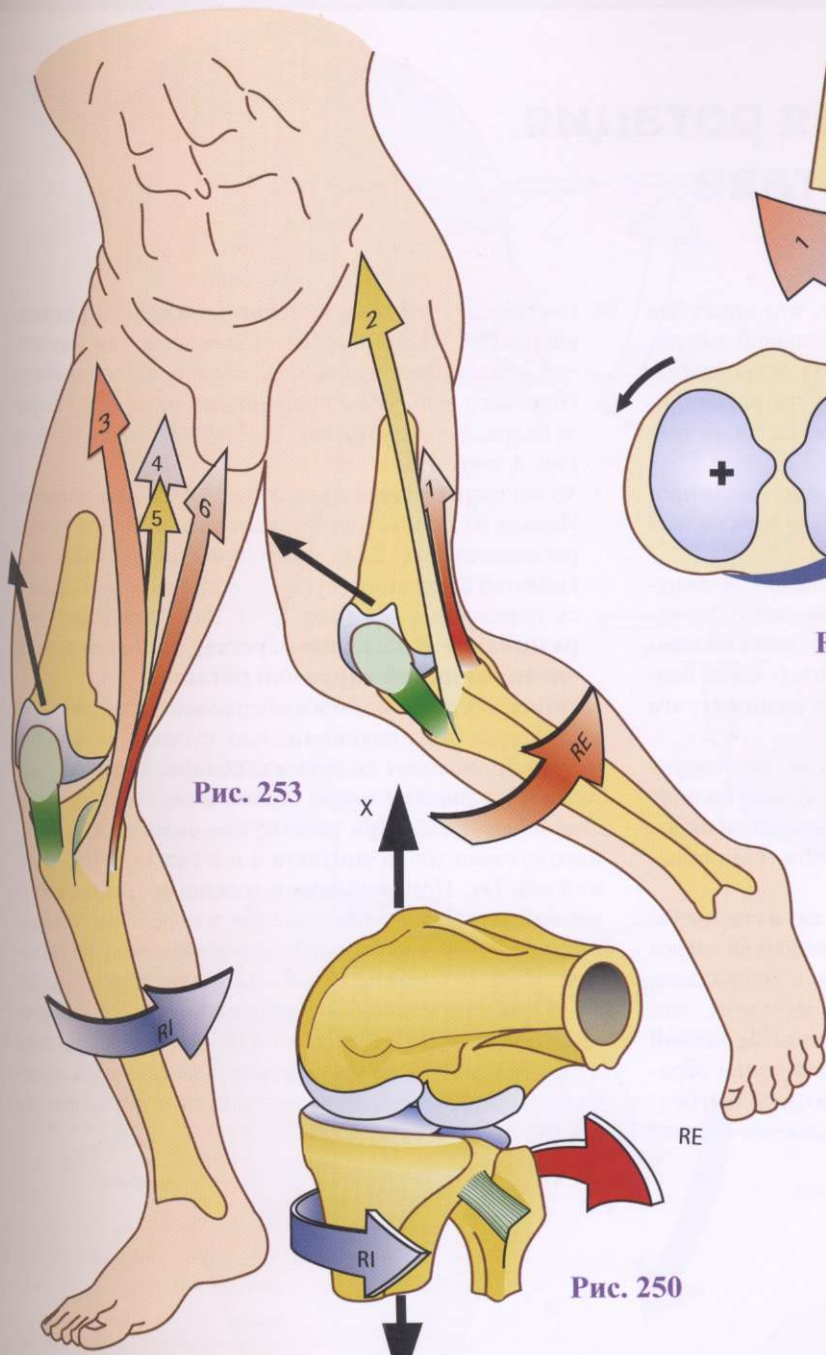


Рис. 253

Рис. 250

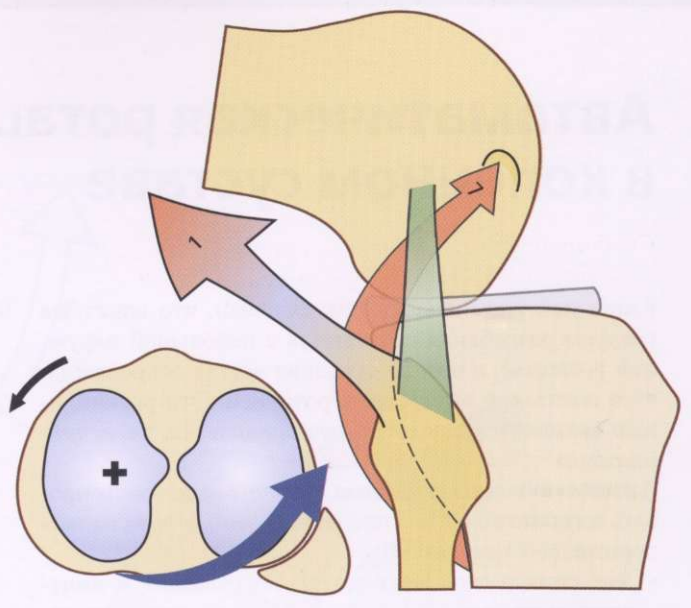


Рис. 255

Рис. 254

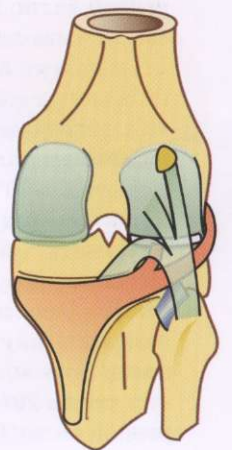


Рис. 256

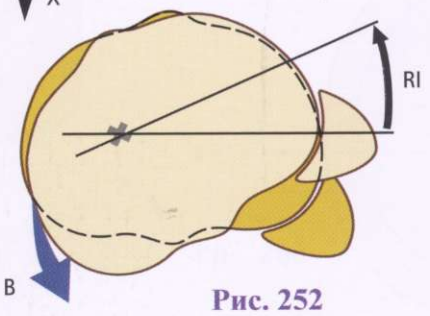


Рис. 252

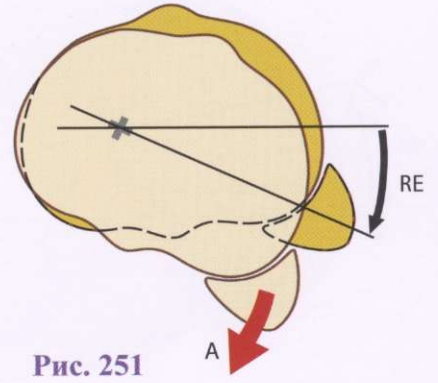


Рис. 251

# Автоматическая ротация в коленном суставе

Ранее уже упоминалось (см. стр. 86), что конечные градусы разгибания сочетаются с небольшой наружной ротацией, а начало сгибания всегда сопровождается некоторой внутренней ротацией. Эти ротационные движения происходят *автоматически*, т.е. *непроизвольно*.

**Автоматическую ротацию** можно продемонстрировать на анатомическом препарате, основанном на эксперименте Роуда (Roud):

- **Две спицы проводят в горизонтальном и поперечном направлениях** (рис. 257, вид сверху на разогнутый коленный сустав) через верхнюю оконечность большеберцовой кости и нижнюю часть бедренной кости. Когда коленный сустав **разогнут**, эти спицы параллельны друг другу.
- Если **колено сгибают на 90°** (рис. 258, вид сверху на согнутое колено), то заметно, что спицы больше не параллельны, в связи с наружной ротацией бедра по отношению к большеберцовой кости. Они образуют угол в 30°.
- Когда **ось бедра возвращается в сагиттальную плоскость** (рис. 259), спица, проходящая через большеберцовую кость, наклоняется в медиально-латеральном и переднезаднем направлениях, что говорит о **внутренней ротации большеберцовой кости** по отношению к бедренной. Эта спица образует **угол в 20°** с линией перпендикулярной оси бедренной кости. Поэтому сгибание в коленном суставе

сочетается с **автоматической внутренней ротацией на 20°**. Разница в 10° объясняется тем фактом, что спица, проходящая через бедро, из-за физиологического вальгуса не перпендикулярна оси диафиза бедра, а образует с ней V-образный угол в 80° (см. рис. 3, стр. 81).

- То же самое можно проделать в **обратном порядке**. Исходя из положения сгибания на 90°, когда спицы расходятся (рис. 258), чтобы прийти к полному разгибанию в коленном суставе, когда спицы становятся параллельными (рис. 257). Это показывает, что **разгибание в коленном суставе сопровождается автоматической наружной ротацией**.

Внутренняя ротация большеберцовой кости (рис. 260, вид сверху на проксимальную суставную поверхность) происходит во время сгибания, поскольку *наружный мыщелок бедра отстает назад больше, чем внутренний*. При разогнутом положении коленного сустава точки контакта **а** и **б** лежат на поперечной оси **Ох**. При сгибании в коленном суставе внутренний мыщелок из положения **а** переходит в положение **а'** (5-6 мм), а наружный мыщелок - из положения **б** в положение **б'** (10—12 мм), и точки контакта **а'** и **б'** при сгибании лежат на линии **Оу**, образующей угол в 20° с линией **Ох**. Поэтому для того чтобы линия **Оу** вновь совпала с поперечной плоскостью, большеберцовая кость должна ротируется внутрь на 20°.

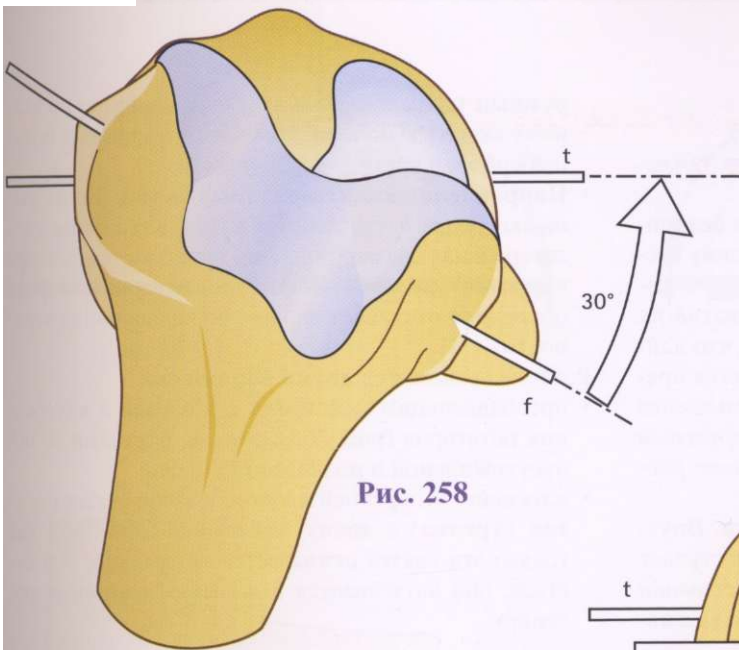


Рис. 258

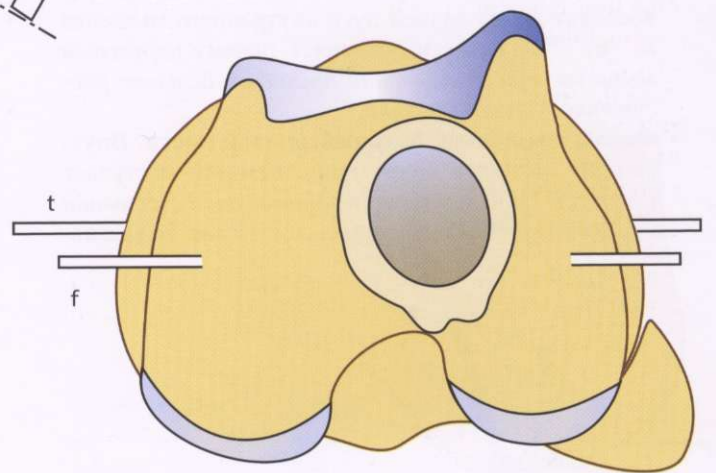


Рис. 257

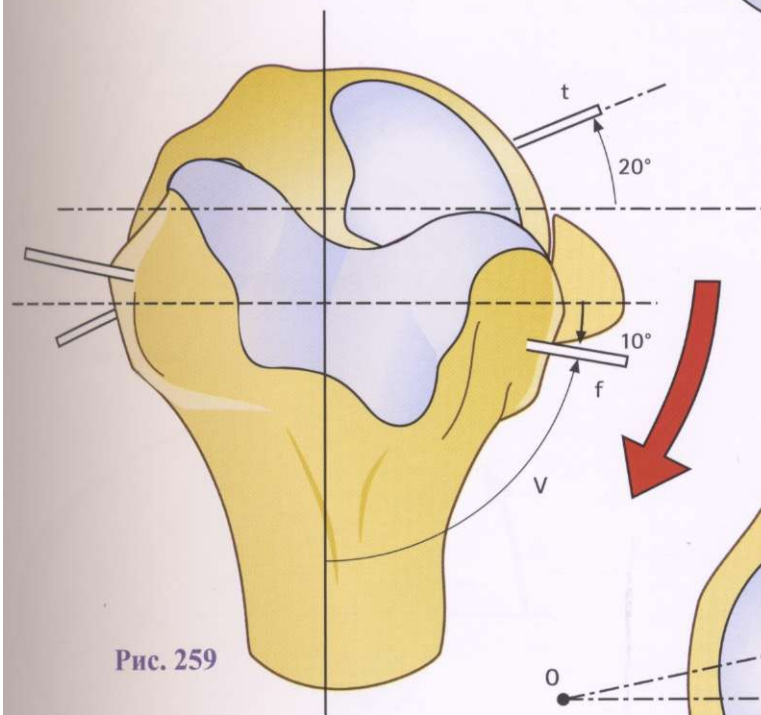


Рис. 259

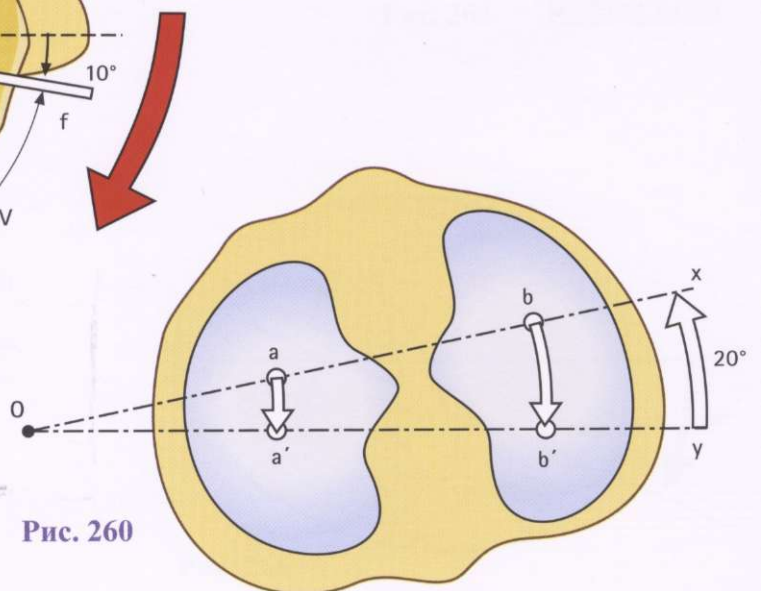


Рис. 260

## **Автоматическая ротация в коленном суставе (продолжение)**

Неодинаковое перемещение мыщелков кзади объясняется **тремя механизмами**.

- **Неравное развитие профилей мыщелков бедренной кости** (рис. 261,262). Если измерить длину суставных поверхностей внутреннего (рис. 261) и наружного (рис. 262) мыщелков бедра, перекатив их по плоской поверхности, то можно видеть, что длина **bd'** задней дуги наружного мыщелка слегка превосходит длину задней дуги внутреннего мыщелка **ac'=bc'**. Это отчасти объясняет, почему *наружный мыщелок при скатывании проходит большее расстояние, чем внутренний*.
- **Форма мыщелков большеберцовой кости**. Внутренний мыщелок бедра лишь немного отступает кзади, т.к. он находится внутри *вогнутой суставной поверхности* большеберцовой кости (рис. 263), а на-

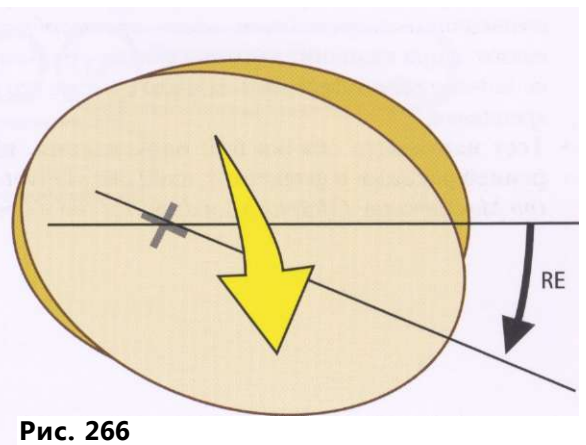
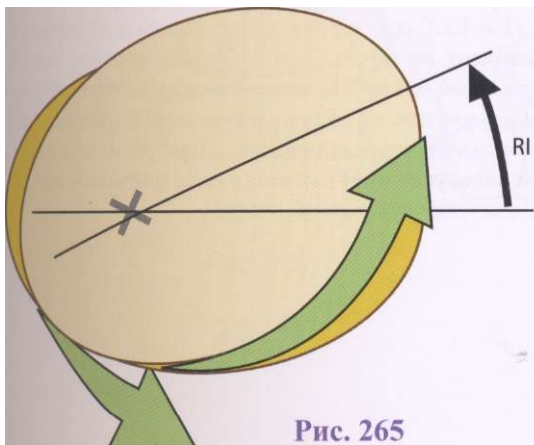
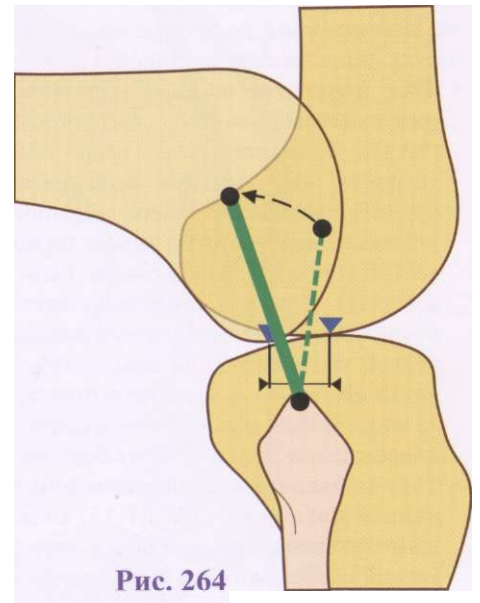
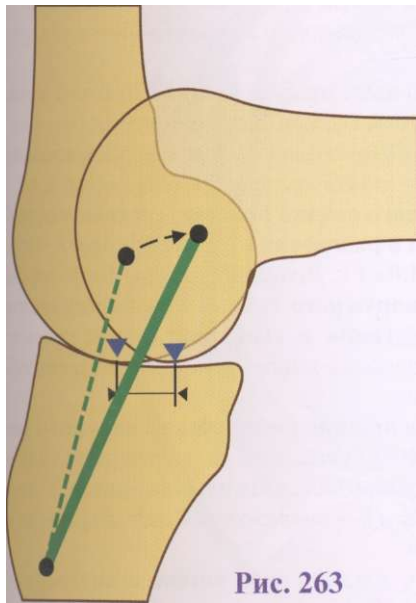
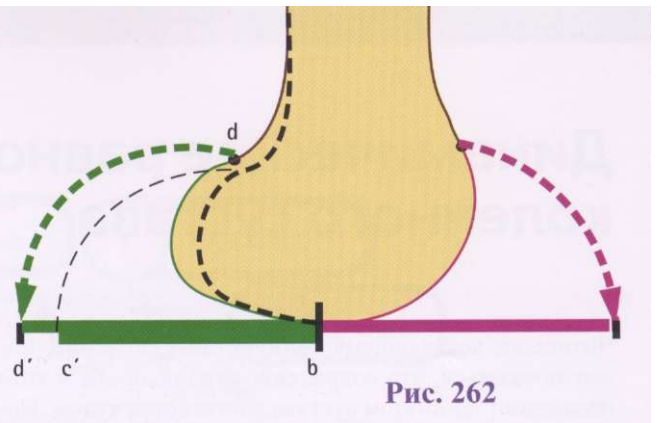
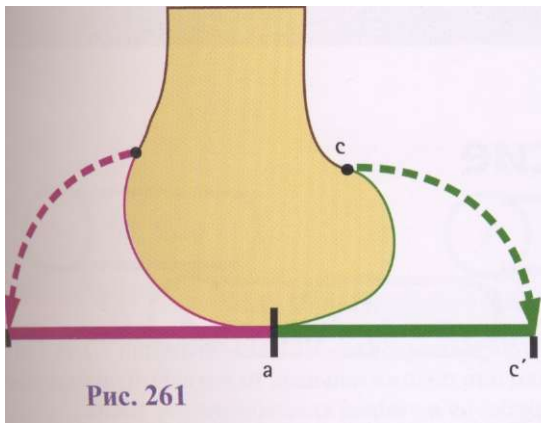
ружный мыщелок скользит более свободно по заднему склону выпуклой поверхности мыщелка большеберцовой кости (рис. 264).

- **Направление коллатеральных связок**. Когда мыщелки бедра откатываются кзади, внутренняя коллатеральная связка (рис. 263) натягивается *быстрее* наружной (рис. 264), поэтому мыщелок на стороне последней отступает дальше по наклонной поверхности.

Ротация вызывается **двумя парами сил**:

- преобладающим действием сгибателей и внутренних ротаторов (рис. 265): тонкой, портняжной, полусухожильной и подколенной мышц;
- натяжением передней крестообразной связки (**желтая стрелка**) к концу разгибания (рис. 266); как только эта связка оказывается латеральной оси сустава, она натягивается и вызывает наружную ротацию.





# Динамическое равновесие коленного сустава

Читателю, дочитавшему данную главу до конца, может показаться, что сохранение стабильности в этом ненадежно замкнутом суставе достигается **чудом**. Поэтому мы решили дать достаточно **понятную** схему (рис. 267), на которой показаны корреляции между основными клиническими тестами и пораженными анатомическими структурами. Выбор этих тестов и их интерпретация, основанные на последних публикациях, не бесспорны, но предлагаемая классификация является лишь *предварительной*.

- **Тест переднего выдвижного ящика в положении нулевой ротации 1**, или **тест прямого ящика** (TA.Dir R.O) может быть слабо положительным у здоровых лиц, поэтому необходимо сравнение с противоположной здоровой конечностью. Если тест положителен, то это указывает на *повреждение передней крестообразной связки*. Если он резко положительный, то это свидетельствует о *сочетанном повреждении большеберцовой коллатеральной и передней крестообразной связок*. Помните о возможности ложноположительного ответа, обусловленного спонтанным *вправлением заднего подвывиха* при повреждении задней крестообразной связки!
- **Тест переднего выдвижного ящика с 15° внутренней ротации 2** (TA. Ri. 15) является несомненным признаком *повреждения передней крестообразной связки*, которое может сочетаться с повреждением задненаружного фиброзно-сухожильного листка.
- **Тест переднего выдвижного ящика с 30° внутренней ротации 3** (TA. Ri. 30) свидетельствует о *сочетанном повреждении обеих крестообразных связок*, а при наличии симптома скачка - и об *отрыве заднего рога наружного мениска в месте его прикрепления*.
- **Тест наружного скачка при вальгизации, внутренней ротации и флексии 4**, или *Lateral Pivot Shift* (по МакИнтошу (Mcintosh)) и *Jerk Test* (по Хьюсто-

*ну (Hughston))* (RsE. VI.Ri.FI. PivotShift - Jerk Test), если они положительные, то это явный признак *повреждения передней крестообразной связки*.

- **Тест переднего выдвижного ящика при наружной ротации 5** (TA. Re), будучи умеренно положительным, указывает на повреждение задненаружного фиброзно-сухожильного листка, а при сочетании с симптомом скачка - на сопутствующий *отрыв заднего рога внутреннего мениска в месте его прикрепления*.
- **Тест заднего выдвижного ящика с нулевой ротацией 6** (TP.Dir R.O), или тест прямого заднего ящика, будучи положительным, является признаком *повреждения задней крестообразной связки*.
- **Тест наружного скачка при вальгизации, наружной ротации и разгибании 7**, или *Pivot Shift Reverse Test* (RsE. VI.Re.Ex. PivotShift Reverse Test), так же как и **тест наружного скачка при вальгизации, наружной ротации и сгибании**, будучи положительными, говорят о повреждении задней крестообразной связки.
- **Тест заднего выдвижного ящика с наружной ротацией 8** (TP. Re) указывает на повреждение задненаружного фиброзно-сухожильного листка *с повреждением или без повреждения задней крестообразной связки*.
- **Тест заднего выдвижного ящика с внутренней ротацией 9** (TP. Ri) специфичен для *сочетанного повреждения задней крестообразной связки и задневнутреннего фиброзно-сухожильного листка*.
- **Поперечное боковое смещение при разгибании 10** (Lat.Ex.Ext.), вызывающее небольшой вальгус, указывает на *повреждение большеберцовой коллатеральной связки*. Наличие более заметного вальгуса (++) указывает на сопутствующий перелом *тастинки внутреннего мыщелка*. При резко выраженном вальгусе (+++) имеется также *повреждение передней крестообразной связки*.

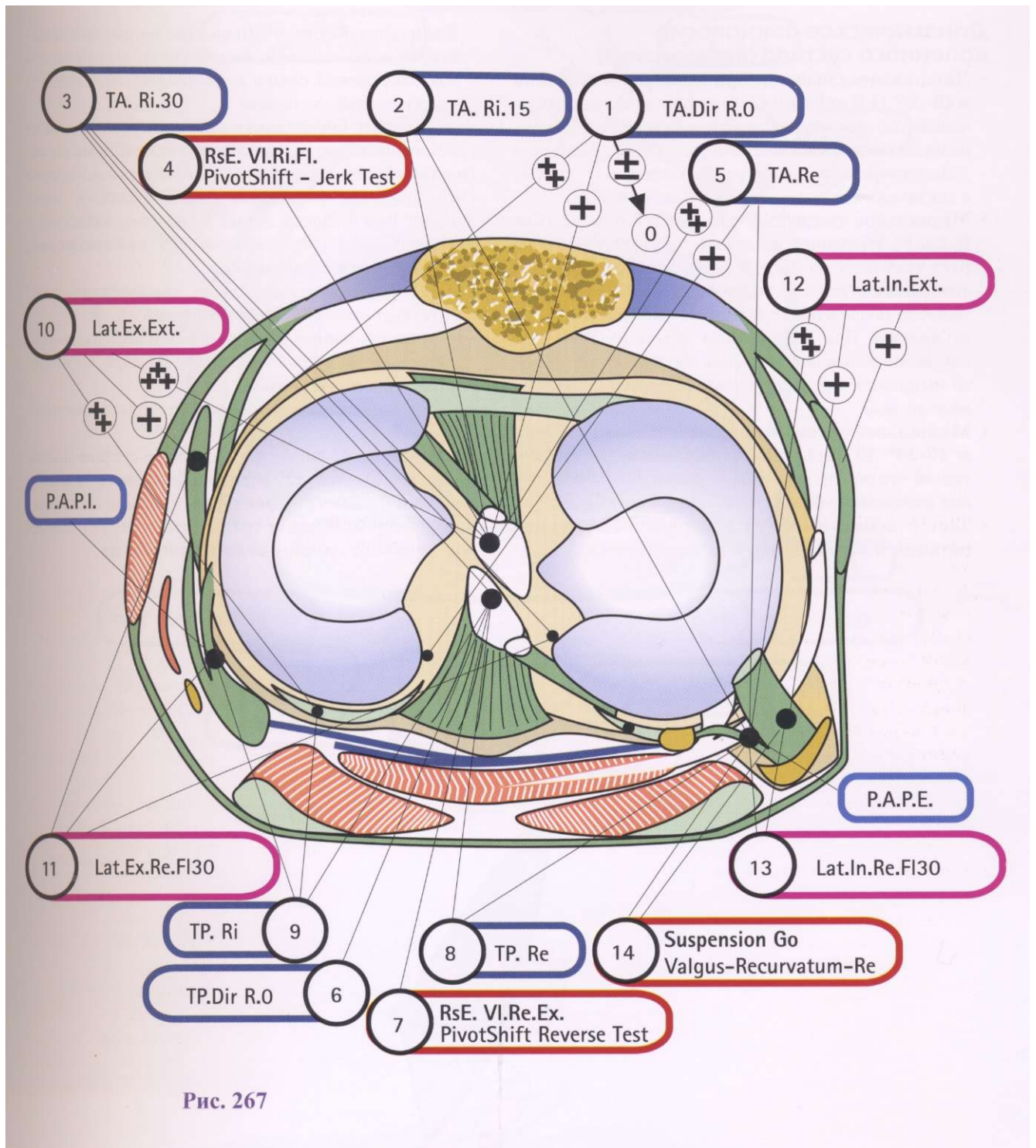


Рис. 267

## **Динамическое равновесие коленного сустава (продолжение)**

- **Латеральное смещение при небольшом сгибании в 10-30° 11** (Lat.Ex.Re.FI30) является признаком сочетанного повреждения большеберцовой коллатеральной связки, пластинки внутреннего мыщелка и заднепереднего фиброзно-сухожильного листка, а также заднего рога наружного мениска.
- **Медиальное смещение при разгибании 12** (Lat.In.Ext.) с умеренной степенью сопутствующего варуса указывает на повреждение малоберцовой коллатеральной связки с наличием или без одновременного повреждения подвздошно-большеберцового тракта. При выраженном варусе (++) имеется сопутствующее повреждение пластинки наружного мыщелка и задненаружного фиброзно-сухожильного листка.
- **Медиальное смещение при небольшом сгибании в 10-30° 13** (Lat.In.Re.FI30) является признаком только что описанного повреждения, но без вовлечения подвздошно-большеберцового тракта.
- **Тест с использованием рекурвации, наружной ротации и вальгизации 14** (Suspension Go Valgus-

Recurvatum-Re), будучи положительным, свидетельствует о сочетании повреждении малоберцовой коллатеральной связки и задненаружного фиброзно-сухожильного листка.

Чтобы понять биомеханику коленного сустава, нужно рассматривать его в рамках концепции **динамического равновесия** и, что еще важнее, забыть о концепции симметричного равновесия, представленной двумя чашами весов. Здесь лучше проводить аналогию с виндсерфингом (рис. 268) с тремя **компонентами, находящимися в равновесии:**

- море, поддерживающее доску для серфинга, соответствует *суставным поверхностям*,
- спортсмен, направляющий доску и *постоянно реагирующий на воздействие моря и ветра*, соответствует мышечной системе,
- парус, надуваемый ветром, олицетворяет *связочный аппарат*.

Таким образом, движения коленного сустава **постоянно определяются сбалансированным взаимодействием этих трех факторов**, а именно суставных поверхностей, мышц и связок, что и служит примером **тройного динамического равновесия**.

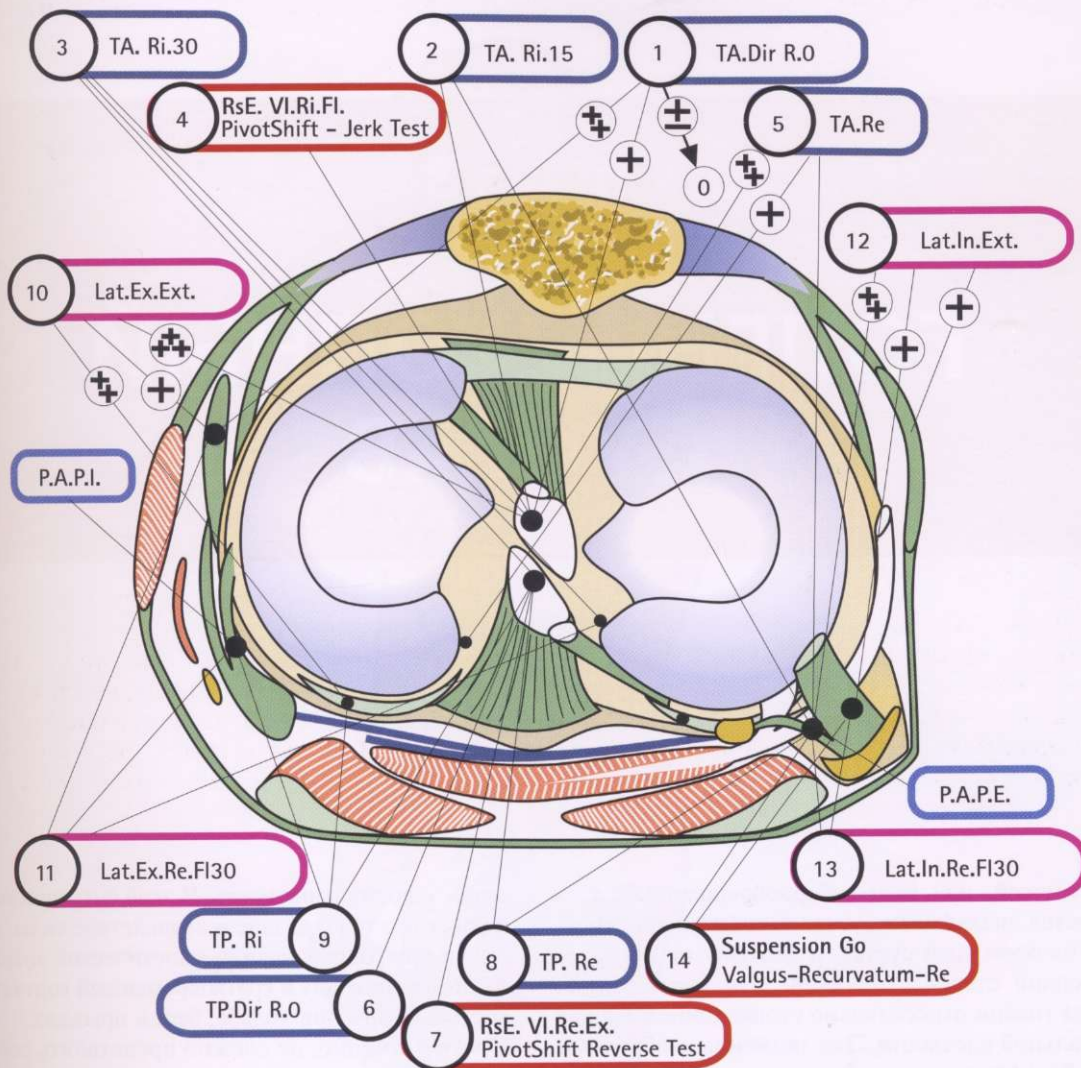


Рис. 267

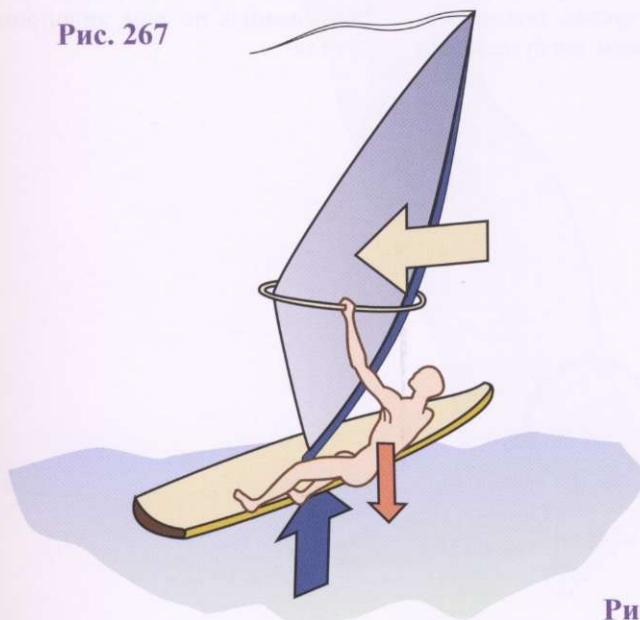


Рис. 268

## Глава 3

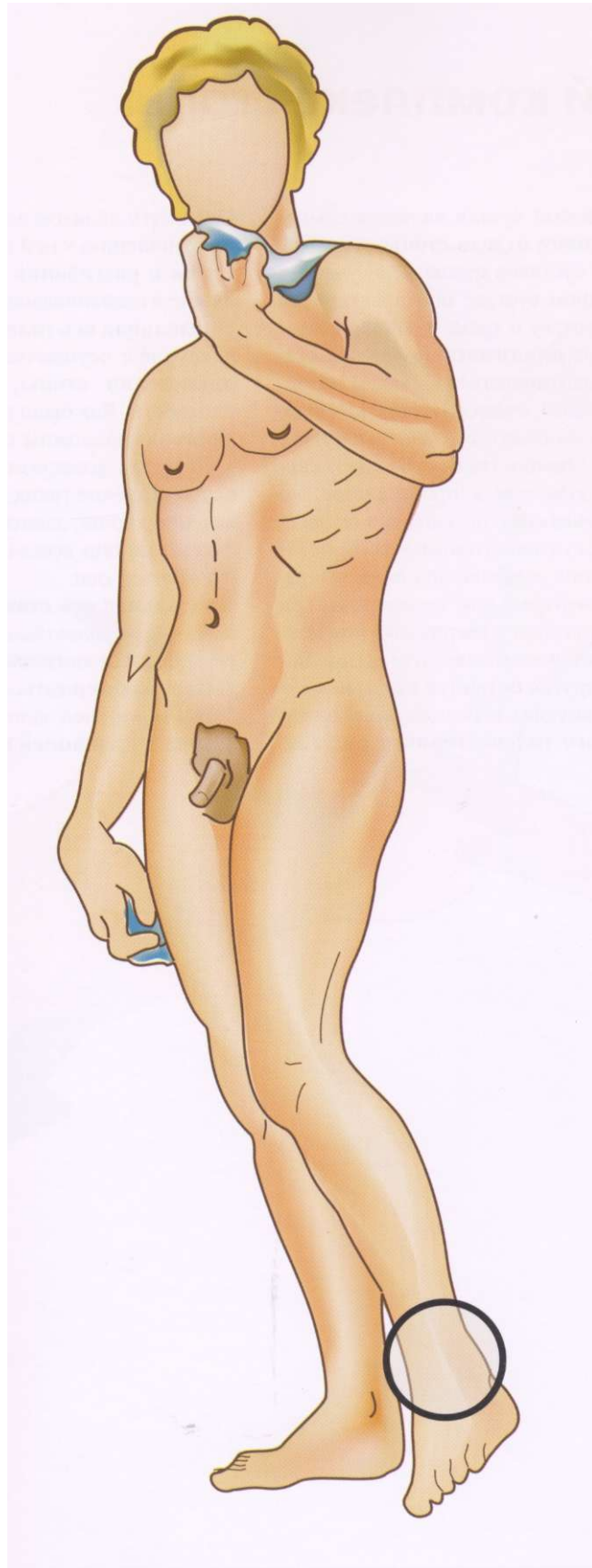
# ГОЛЕНОСТОПНЫЙ СУСТАВ

Голеностопный, или большеберцово-таранный, сустав является дистальным суставом нижней конечности. Это блоковидный сустав, и поэтому он обладает только одной степенью свободы. Он контролирует движения голени относительно стопы, происходящие в сагиттальной плоскости. Эти движения необходимы для ходьбы по ровной поверхности или в гору.

Это очень надежный, замкнутый сустав, подвергающийся экстремальным механическим нагрузкам при

опоре на одну конечность. В этой ситуации он выдерживает вес тела, да еще и воздействие силы, возникающей при распределении кинетической энергии, когда стопа приходит в кратковременный контакт с плоскостью опоры при ходьбе, беге и прыжках.

Соответственно, не сложно представить себе, какие трудности стоят перед создателями надежных и долговечных полных эндопротезов голеностопного сустава.



## Суставной комплекс стопы

По существу, голеностопный сустав является самым важным из **суставов заднего отдела стопы**. Фарабеф называл его «**королем**» суставов стопы. При участии осевой ротации в коленном суставе они практически эквивалентны одному суставу с тремя степенями свободы, что позволяет стопе **принимать любое положение в пространстве** и адаптироваться к любым неровностям поверхности. Здесь очевидно определенное *сходство с верхней конечностью*: суставы запястья с помощью пронации и супинации также позволяют кисти принимать любое положение в пространстве, но *подвижность кисти значительно больше, чем стопы*. **Три основные оси** этого суставного комплекса (рис. 1) пересекаются, грубо говоря, в задней половине стопы. Когда она находится в нейтральном положении, три оси перпендикулярны друг другу. На рисунке разгибание в голеностопном суставе вызывает изменение направления оси *Z*, а две другие остаются неизменны. **Поперечная ось XX'** проходит через обе лодыжки и соответствует **оси самого голеностопного сустава**.

Она почти целиком лежит во фронтальной плоскости, по отношению к ней осуществляются **движения сгибания и разгибания стопы** (см. стр. 178), происходящие в *сагиттальной плоскости*.

**Продольная ось голени Y** расположена вертикально, вокруг нее осуществляются **движения отведения и приведения стопы**, происходящие в поперечной плоскости. Как было показано ранее (см. стр. 86), эти движения возможны только благодаря осевой ротации в согнутом коленном суставе. В некоторой степени осуществление таких движений, как приведение и отведение стопы, зависит от *суставов заднего отдела стопы*, но они всегда сочетаются с движениями вокруг третьей оси.

**Продольная ось стопы Z** проходит горизонтально и лежит в *сагиттальной плоскости*. Вокруг нее осуществляются движения стопы, которые позволяют подошве поворачиваться кнаружи или кнутри. По аналогии с верхней конечностью эти движения можно называть **пронацией и супинацией**.



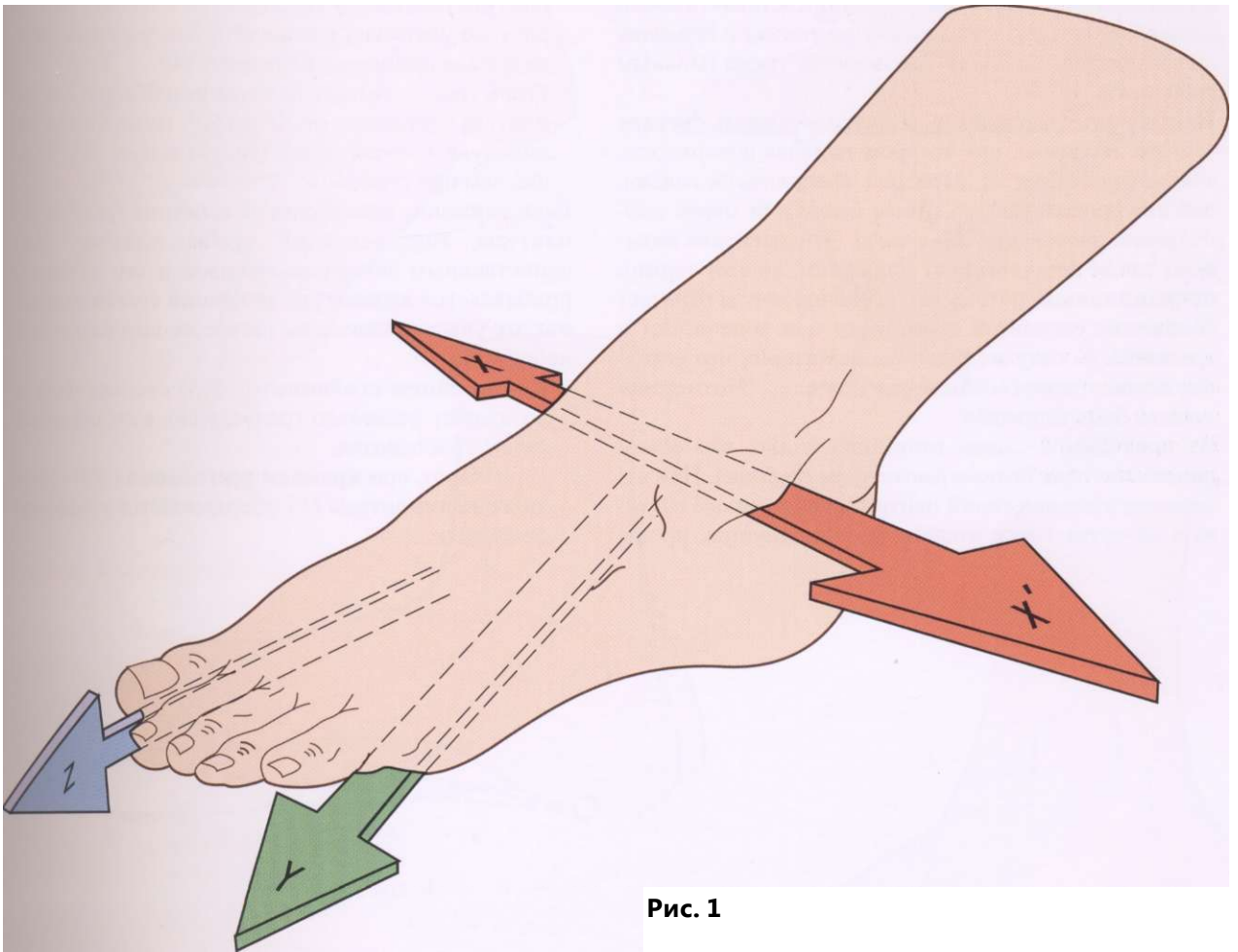


Рис. 1

# Сгибание и разгибание

Нейтральным положением (рис. 2) считается такое, при котором подошва стопы располагается *перпендикулярно* к оси голени А. Из этого положения **сгибание в голеностопном суставе В** будет представлять собой движение, которое *сближает тыл стопы с передней поверхностью голени*, оно называется также тыльным сгибанием.

И наоборот, **разгибание в голеностопном суставе С** - это движение, при котором тыльная поверхность стопы отдалается от передней поверхности голени, так что продольная ось стопы более или менее *продолжает продольную ось голени*. Это движение называют также подошвенным сгибанием, но этот термин **неправильный**, потому что сгибание всегда означает сближение сегментов конечности или конечности и туловища. К тому же было бы нелогично, что сгибание осуществляют мышцы-разгибатели... Этот термин должен быть запрещен.

Из приводимой схемы отчетливо видно, что *объем разгибания явно больше амплитуды сгибания*. При измерении этих движений центр голеностопного сустава в качестве точки отсчета не используется, проще

оценить угол между подошвой стопы и продольной осью голени (рис. 3).

- *Острый угол в* означает наличие **сгибания**. Его амплитуда составляет от 20° до 30°. Розовая зона на рисунке указывает размах сгибания у разных индивидуумов примерно, в пределах 10°.
- *Тупой угол с* означает наличие **разгибания**. Его амплитуда составляет от 30° до 50°. Возможности индивидуальных вариаций (**голубая зона, 20°**) больше, чем при сгибании.

Если движения происходят на конечных градусах амплитуды, голеностопный сустав перестает быть единственным активным суставом, к его амплитуде прибавляется **амплитуда движений суставов плюсны**, их участие невелико, но все же ими нельзя пренебрегать.

- При **крайнем сгибании** (рис. 4) суставы плюсны добавляют несколько градусов (+), а подошвенные своды уплощаются.
- И наоборот, при **крайнем разгибании** (рис. 5) увеличение амплитуды (+) обеспечивается увеличением сводов.

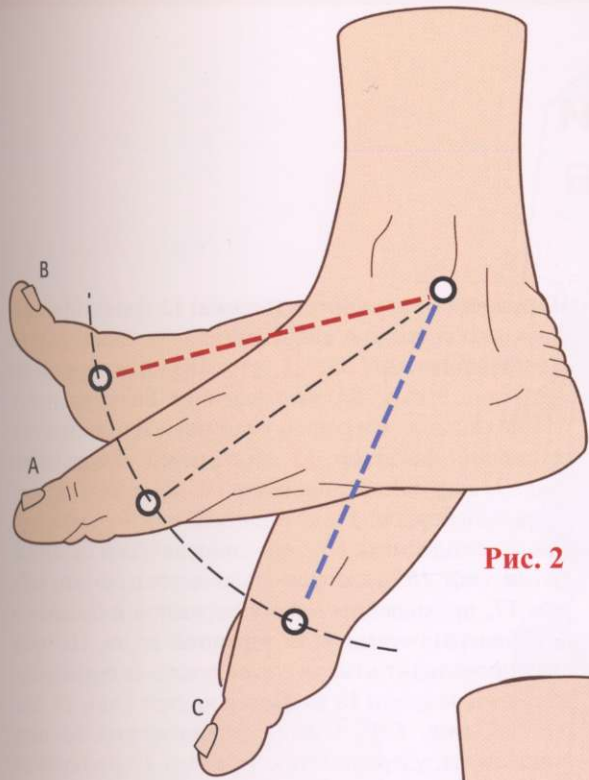


Рис. 2

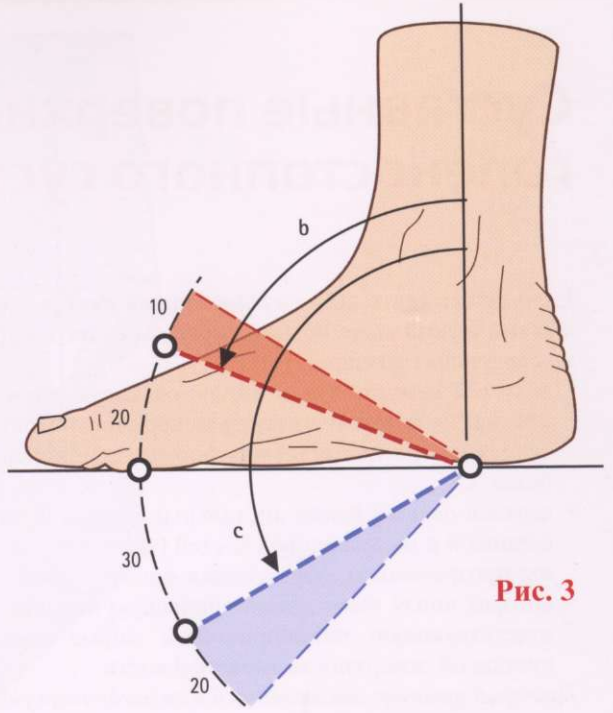


Рис. 3

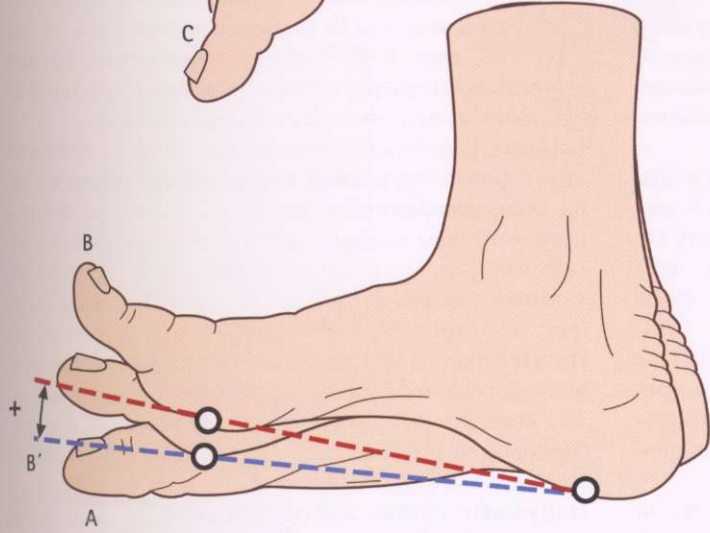


Рис. 4

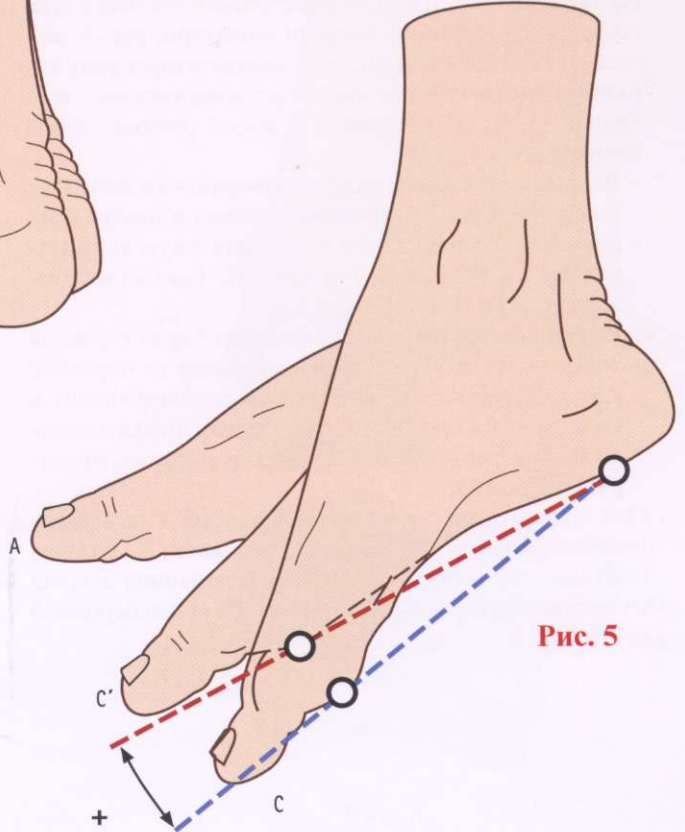


Рис. 5

# Суставные поверхности голеностопного сустава

Если представить себе голеностопный сустав в виде **механической модели** (рис. 6), то он будет состоять из следующих компонентов:

- **Нижней детали А** или таранной кости, на верхней части которой имеется поверхность приблизительно, цилиндрической формы, с поперечной осью ХХ';
- **верхней детали В** или дистальных концов большеберцовой и малоберцовой костей (здесь они показаны прозрачными), образующих единую структуру, которая внизу имеет цилиндрическую полость, соответствующую цилиндрической форме верхней суставной поверхности таранной кости.

*Прочный цилиндр, заключенный в цилиндрическую полость верхней детали и удерживаемый составляющими ее костями, способен выполнять такие движения, как сгибание (синяя стрелка) и разгибание (красная стрелка) по отношению к общей оси ХХ'.*

**На скелете** (рис. 7, вид голеностопного сустава в «разобранном состоянии» спереди и изнутри; рис. 8, вид сзади и снаружи) этот цилиндр соответствует **телу таранной кости**, которое имеет *три поверхности* — верхнюю, или блоковидную, и боковые (щечки): внутреннюю и наружную.

- **Верхняя, или блоковидная поверхность** выпуклая в переднезаднем направлении, имеет в центре продольную бороздку блока 1, ограниченную его внутренней 2 и наружной 3 губами. По бокам расположены щечки тела таранной кости.
- **Внутренняя поверхность (щечка) 7** тела таранной кости почти плоская, за исключением ее передней части, наклоненной кнутри и располагающейся в сагиттальной плоскости. Внутренняя щечка отделена от внутренней губы 3 тела таранной кости острым ребром 11.

Она сочленяется с суставной фасеткой 8 на наружной поверхности **внутренней лодыжки 9**, которая выстлана суставным хрящом, переходящим в хрящ на нижней суставной поверхности большеберцовой кости.

- **Наружная поверхность (щечка) 12** ориентирована наклонно кпереди и кнаружи (рис. 8). Она вогнутая в верхненижнем (рис. II, стр. 183) и в переднезаднем (рис. 9, стр. 183) направлениях. Ее поверхность слегка скошена кпереди и кнаружи и контактирует с суставной фасеткой 13 внутренней поверхности (рис. 7) **наружной лодыжки 14**. Фасетка отделена от большеберцовой кости линией нижнего межберцового синдесмоза 15 с его синовиальной складкой 16 (см. стр. 185), которая сочленяется с острым ребром 17, проходящим между наружной и блоковидной поверхностями тела таранной кости. На этом крае происходит *изменение направления скошенности* — *скос кпереди 18* меняется на *скос кзади 19* (см. рис. 12, стр. 183). Сустав, образованный по типу синдесмоза, удерживается передней 27 и задней 28 большеберцово-малоберцовыми связками.

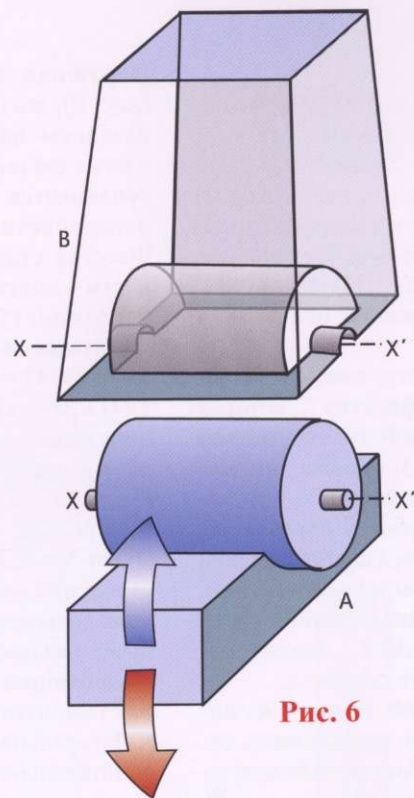
Блоковидная поверхность таранной кости **соответствует форме суставной поверхности нижнего конца большеберцовой кости** (рис. 7 и 8), вогнутой в переднезаднем направлении (рис. 12, стр. 183: сагиттальный срез, вид снаружи) и имеет небольшой сагиттальный гребень 4, прикрепленный к бороздке блока (рис. 11, стр. 183, фронтальный срез, вид спереди). По обе стороны от этого гребня внутренняя 5 и наружная 6 бороздки вмещают в себя губы таранной кости. Эта поверхность ограничена сзади краем 20 большеберцовой кости, который иногда называют *третьей лодыжкой* Дэсто (Destot)

**Наружные связки голеностопного сустава** видны на рис. 7, вид спереди и изнутри:

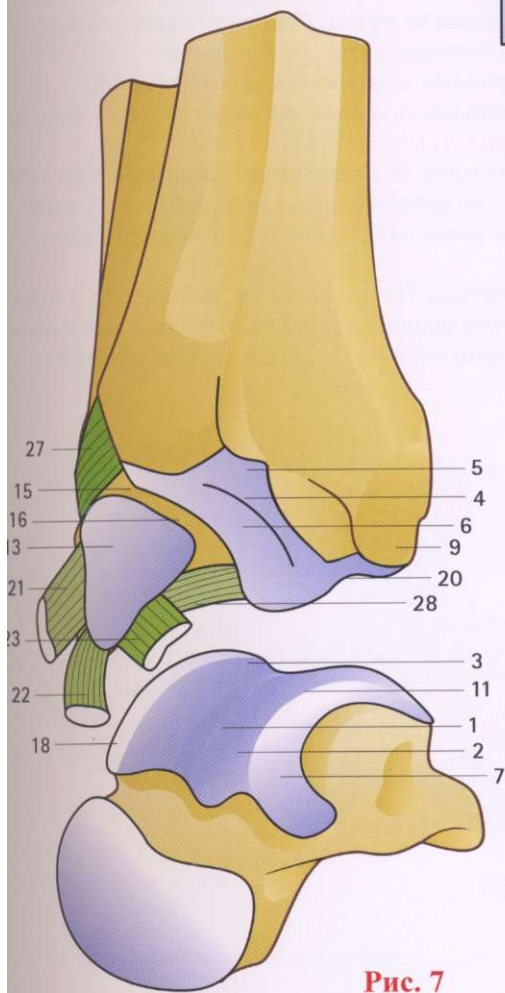
- передняя таранно-малоберцовая связка 21;
- наружная пяточно-малоберцовая связка 22;
- задняя таранно-малоберцовая связка 23.

**Внутренние связки голеностопного сустава** видны на рис. 8, вид сзади и снаружи. Они расположены в два слоя — глубокий и поверхностный:

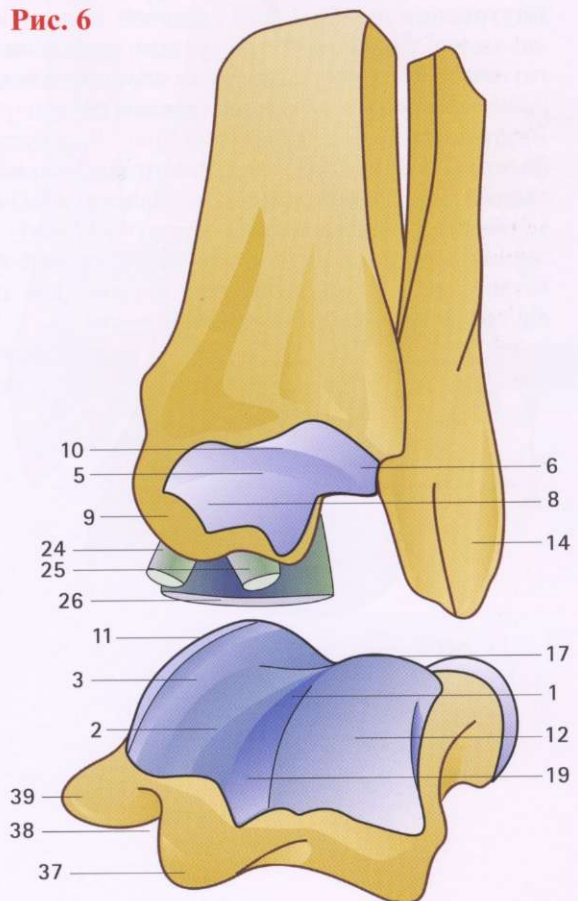
- глубокая задняя таранно-малоберцовая связка 24;
- глубокая передняя таранно-малоберцовая связка 25;
- поверхностный слой дельтовидной связки 26.



**Рис. 6**



**Рис. 7**



**Рис. 8**

## Суставные поверхности голеностопного сустава (продолжение)

**Вид спереди** (рис. 9, срез голеностопного сустава на уровне лодыжек) позволяет ясно представить, как тело таранной кости **встроено** между двумя лодыжками. Хирурги называют это явление **межлодыжечные щипцы**. На рисунке также видно, что блоковидная поверхность таранной кости спереди **L** шире, чем сзади **I**. Это имеет огромную механическую ценность, в чем мы убедимся позднее.

Верхняя поверхность таранной кости, имеющая форму блока, содержит **внутреннюю фасетку 2**, которая участвует в построении медиальной голеностопной бороздки **5**, и **наружную фасетку 3**, которая симметрично образует латеральную голеностопную бороздку **6**. Эти фасетки разделены неглубокой бороздой **1**, которая лежит не строго сагиттально, а слегка скошена *кпереди и кнаружи* (стрелка **Z**) в том же направлении, что и продольная ось стопы. А шейка таранной кости направлена *кпереди и кнутри* (стрелка **T**), поэтому таранная кость как бы скручена вокруг своей оси.

**Внутренняя щечка 7** тела таранной кости, показанная на рис. 10, вид изнутри сустава, расположена сагиттально (рис. 9) и практически плоская, за исключением передней части, где она скошена кнутри (рис. 7). Внутренняя щечка сочленяется (рис. 9) с суставной фасеткой **8** наружной поверхности **медиальной лодыжки 9**, покрытой хрящом, идущим от нижней поверхности большеберцовой кости **4**. Между этими двумя поверхностями имеется угол, в который входит острое ребро **11**, разделяющее внутреннюю губу и внутреннюю щечку тела таранной кости.

**Наружная щечка 12** сильно изогнута кнаружи (рис. 8), вогнута в верхненижнем (рис. II) и переднезаднем направлениях (рис. 9). Ее поверхность слегка скошена кпереди и кнаружи (пунктир). Она сочленяется с суставной фасеткой **13** внутренней поверхности (рис. 7) **латеральной лодыжки 14**. Фасетка отделена от поверхности большеберцовой кости дистальной большеберцово-малоберцовой бороздкой **15** (рис. 11). Этот **синдесмоз** удерживается нижними большеберцово-малоберцовыми связками **40**. Он заполнен синовией **16** (см. также стр. 194) и контактирует с ребром **17**, которое разделяет наружные губу и щечки тела таранной кости - острым в центре, уплощенном (рис. 12) спереди **18** и сзади **19** (см. стр. 192).

Внутренняя и наружная поверхности тела таранной кости зажаты между двумя лодыжками (красные стрелки). Соединение ствола большеберцовой кости и двух лодыжек можно сравнить с правильно подобранными пазлами, и его можно назвать большеберцово-малоберцовым пазом. Лодыжки, в свою очередь, существенно отличаются друг от друга:

- Латеральная лодыжка *больше* медиальной.
- Латеральная лодыжка *выстает ниже* медиальной (рис. 11).
- Латеральная лодыжка имеет *более заднее расположение* по сравнению с медиальной (рис. 9), что объясняет косое направление ( $20^\circ$ ) кнаружи и кзади оси ХХ'.

Под понятием третья лодыжка Дэсто (рис. 12) подразумевается задний край большеберцовой поверхности **20**, который опускается дальше **p**, чем передний.

20

37

38

39

По;

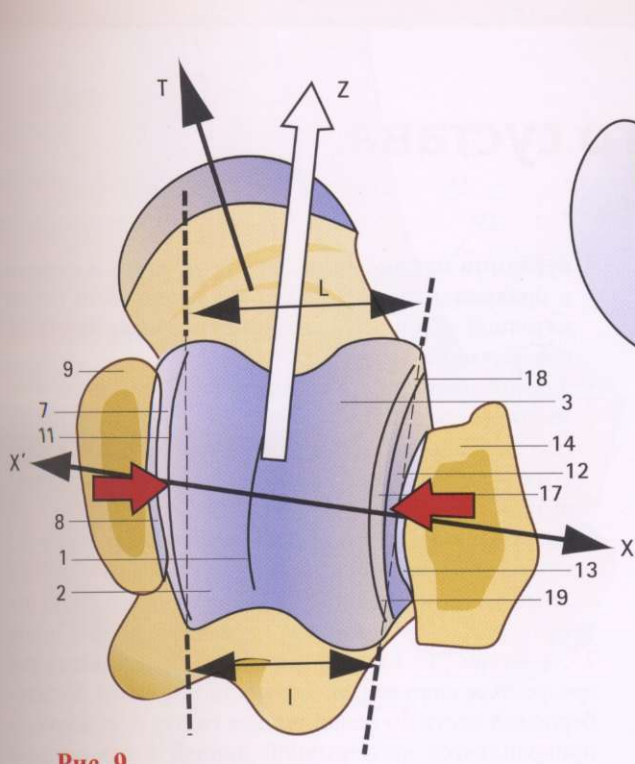


Рис. 9

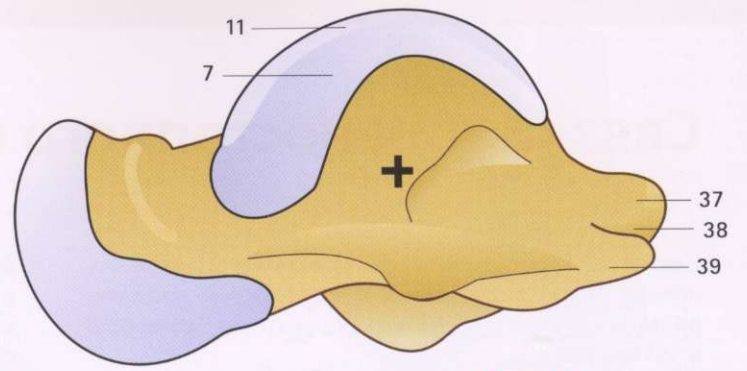


Рис. 10

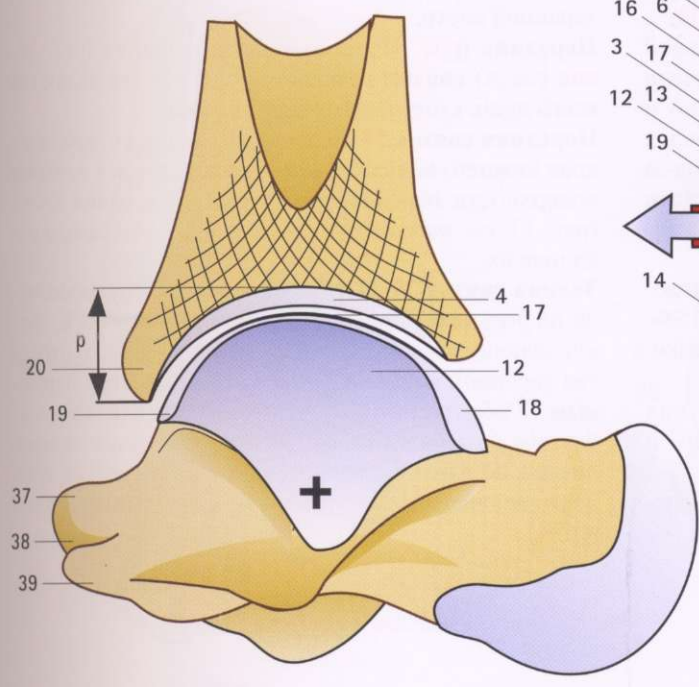


Рис. 12

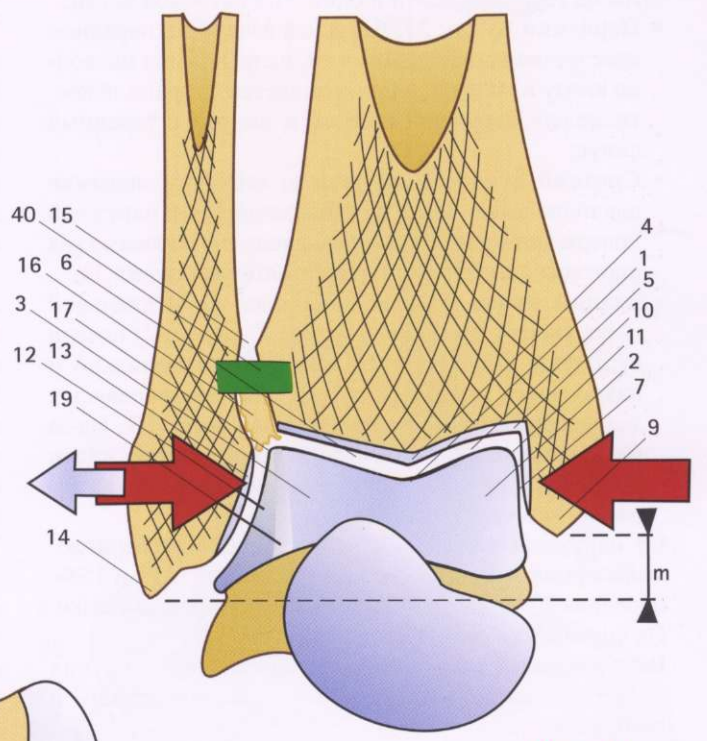


Рис. 11

Подписи для всех четырех рисунков одинаковы.

# Связки голеностопного сустава

Связки голеностопного сустава состоят из двух основных групп - **наружной и внутренней коллатеральных связок** и двух добавочных групп - **передней и задней связок**.

Коллатеральные связки образуют с каждой стороны сустава мощные *фиброзные веерообразные пучки*, вершины которых прикрепляются к соответствующим лодыжкам, вблизи оси сгибания-разгибания XX', а периферическая часть пучков крепится к двум костям дорсальной части стопы.

**Наружная коллатеральная связка** (рис. 13, вид снаружи) представлена **тремя пучками**, два заканчиваются на таранной кости и один - на пяточной кости:

- **Передний пучок 21**, берущий начало на переднем крае медиальной лодыжки **14**, направляется наклонно книзу и кпереди и прикрепляется к таранной кости между наружной щечкой и входом в таранный синус;
- **Средний пучок 22**, идущий от верхушки лодыжки наклонно книзу и кзади, прикрепляется к наружной поверхности пяточной кости; вдоль его нижнего края проходит латеральная таранно-пяточная связка 32;
- **Задний пучок 23**, начинающийся на медиальной поверхности лодыжки (*см. рис. 7, стр. 181*) позади суставной фасетки. Он проходит горизонтально и наклоняется кнутри и слегка кзади, прикрепляясь к задненаружному бугорку таранной кости 37. Из-за его расположения и направления он лучше виден сзади (рис. 14). Этот пучок продолжает задняя таранно-пяточная связка 31.

От наружной лодыжки отходят две большеберцово-малоберцовые связки (межберцовые) (рис. 14 и 15) — передняя 27 и задняя 28 нижние межберцовые связки. Их значимость станет ясна позже.

**Внутренняя коллатеральная связка** (рис. 16, вид изнутри) состоит из двух слоев - поверхностного и глубокого.

**Глубокий слой** представлен двумя таранно-большеберцовыми пучками:

- **передний пучок 25** идет наклонно книзу и кпереди и прикрепляется к внутренней поверхности шейки пяточной кости. Он показан прозрачным на рис. 16 и виден на рис. 15.
- **Задний пучок 24** идет наклонно книзу и кзади и заканчивается в глубокой ямке (рис. 10), расположенной под внутренней щечкой тела таранной кости; его самые задние волокна прикрепляются к задне-внутреннему бугорку 39.

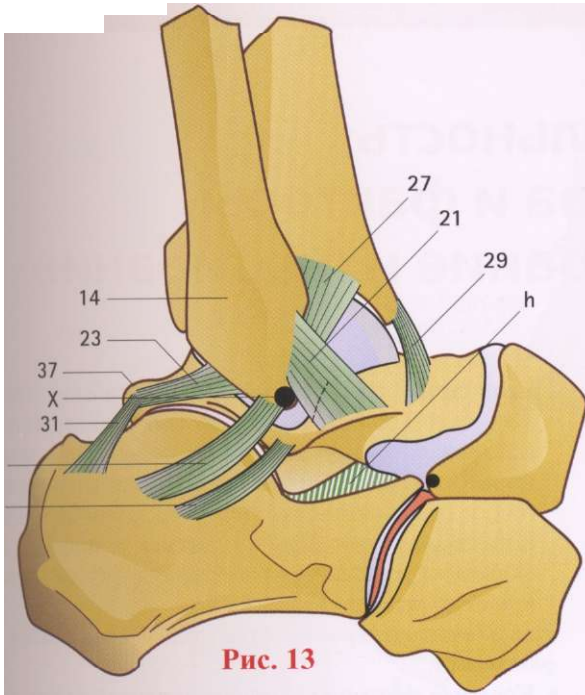
**Поверхностный слой** треугольной формы, широкий, составляет **дельтовидную связку 26**. На рис. 15 (вид спереди) в дельтовидной связке сделали вырезку и оттянули ее, чтобы *показать передний глубокий пучок 25*, а на рис. 16 (вид изнутри) она представлена *как прозрачная структура*. От места начала на большеберцовой кости 36 дельтовидная связка идет веером и прикрепляется непрерывной линией к ладьевидной кости 33 вдоль внутреннего края суставной связки 34 и к малому отростку пяточной кости 35. Таким образом, дельтовидная связка, как и средний пучок наружной коллатеральной связки, не имеет прикрепления к таранной кости.

**Передняя** (рис. 15, вид спереди) и **задняя** (рис. 14, вид сзади) **связки** голеностопного сустава являются всего лишь капсульными утолщениями.

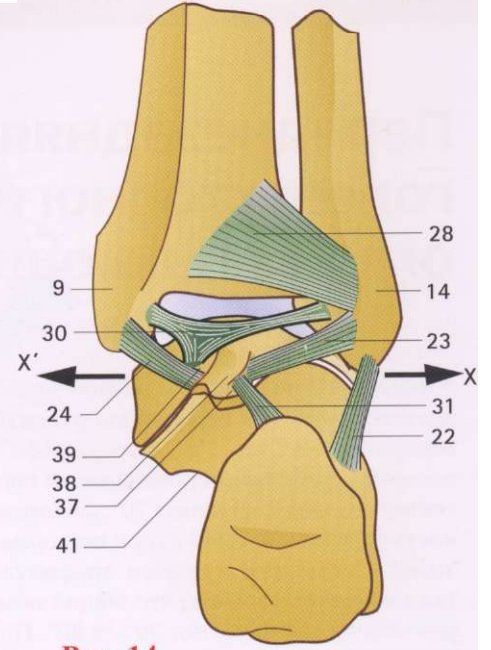
**Передняя связка 29** проходит наклонно от переднего края нижнего конца большеберцовой кости к верхней поверхности передней части шейки таранной кости (рис. 13, *см. также рис. 19, стр. 209*), тем самым соединяя их.

**Задняя связка 30** состоит из волокон, берущих начало на большеберцовой и малоберцовой костях и прикрепляющихся к внутреннему бугорку заднего отростка таранной кости 39. Этот бугорок вместе с наружным 37 образует *глубокую бороздку для длинного сгибателя большого пальца 38*, которая продолжается дистально вдоль нижней поверхности отростка, поддерживающего тело таранной кости (*sustentaculum tali*) 41.

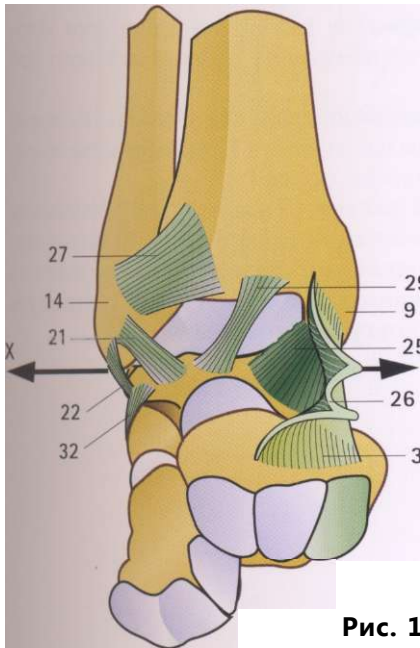




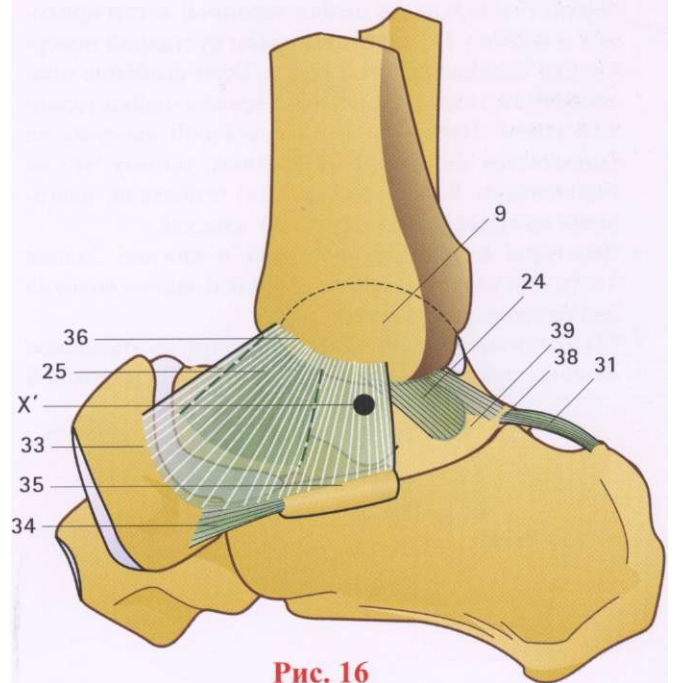
**Рис. 13**



**Рис. 14**



**Рис. 15**



**Рис. 16**

Эти четыре рисунка вдохновлены Рувьером. Подписи являются общими для этих рисунков, а также рисунков на предыдущей странице.

# Переднезадняя стабильность голеностопного сустава и факторы, ограничивающие сгибание и разгибание

Амплитуда сгибания и разгибания прежде всего определяется размером и **степенью развития суставных поверхностей** (рис. 17, схема в профиль). Суставная поверхность большеберцовой кости напоминает дугу, сектор которой составляет  $70^\circ$ , а блоковидная поверхность таранной кости - дугу с сектором  $140-150^\circ$ , поэтому с помощью простого арифметического действия можно подсчитать, что общий объем сгибания и разгибания составляет от  $70^\circ$  до  $80^\circ$ . Поскольку «длина дуги» блоковидной поверхности больше сзади, чем спереди, то *амплитуда разгибания больше, чем сгибания*.

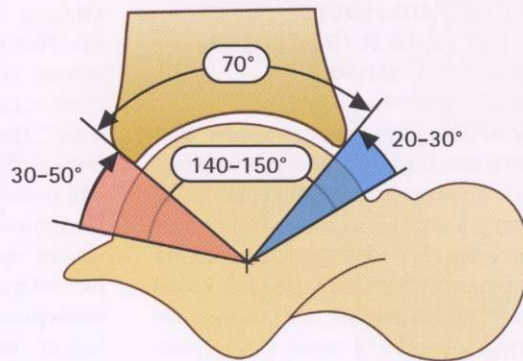
**Сгибание контролируется** (рис. 18) рядом факторов:

- **Фактор костного контакта.** При крайнем сгибании верхняя поверхность шейки таранной кости приходит в контакт 1 с передним краем суставной поверхности большеберцовой кости. Если сгибание продолжается, может произойти перелом шейки таранной кости. Передняя часть суставной капсулы не ущемляется между двумя костями, потому что ее подтягивают 2 кверху (**стрелка**) сгибатели, влагалища которых прикрепляются к капсуле.
- **Факторы натяжения капсулы и связок.** Задняя часть капсулы растягивается 3, как и задние волокна коллатеральных связок 4.
- **Мышечный фактор.** *Сопrotивление, оказываемое тонически активными подошвенной и икроножной*

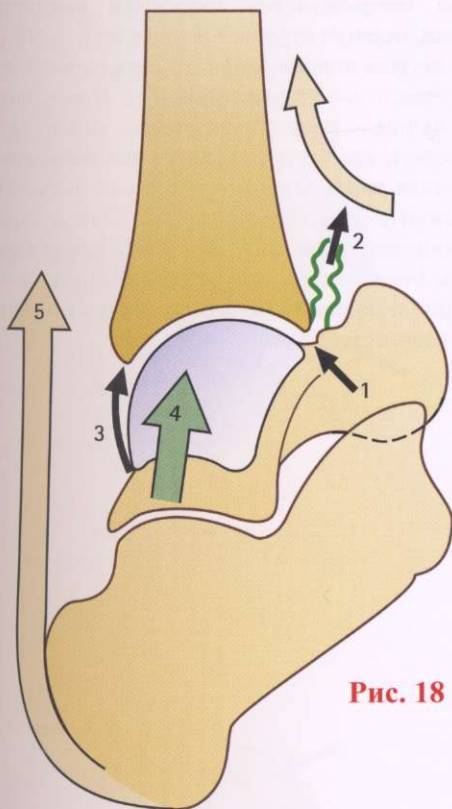
*мышцами 5, обычно ограничивает сгибание еще до того, как в действие вступят два вышеназванных фактора.* Поэтому *укорочение этих мышц* может привести к преждевременному ограничению сгибания, и стопа окажется постоянно зафиксированной в положении разгибания (**конская стопа**). Эта деформация устраняется хирургически, путем *удлинения ахиллова сухожилия*.

**Разгибание контролируется** (рис. 19) подобными же факторами:

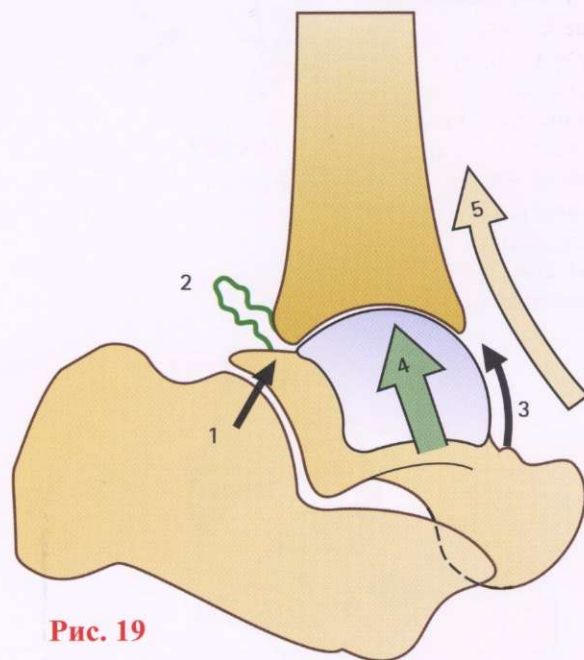
- **Костные факторы.** Бугорки таранной кости, особенно задний, сталкиваются 1 с задним краем суставной поверхности большеберцовой кости. Иногда при переразгибании происходит перелом латерального бугорка, но чаще встречается его *отрыв от таранной кости*; такую ситуацию называют **os trigonum** (добавочная таранная кость). *Капсула при этом защищена от ущемления 2* благодаря механизму, идентичному тому, который действует при сгибании.
- **Факторы натяжения капсулы и связок.** Передняя часть капсулы натягивается 3, как и передние волокна коллатеральных связок 4.
- **Мышечный фактор.** Сопrotивление, оказываемое тонически активными сгибателями 5, является первым ограничивающим фактором. Гиперактивность сгибателей приводит к сгибательной контрактуре голеностопного сустава (**пяточная стопа**).



**Рис. 17**



**Рис. 18**



**Рис. 19**

### **Переднезадняя стабильность голеностопного сустава и факторы, ограничивающие сгибание и разгибание (продолжение)**

**Переднезадняя стабильность голеностопного сустава и соответствие его сочленяющихся поверхностей** (рис. 20) зависят от действия силы тяжести 1, которая прижимает таранную кость к дистальной поверхности большеберцовой кости, а передний 2 и задний 3 края суставной поверхности большеберцовой кости образуют *костные шпоры*, которые не дают блоку таранной кости сместиться кпереди, а чаще кзади, поскольку стопа при разгибании очень сильно ударяется об пол. Коллатеральные связки 4 *пассивно участвуют в кооптации суставных поверхностей*, им помогают мышцы (здесь они не показаны), которые являются **активными кооптаторами**, если сустав интактен.

Когда сгибание или разгибание превышает нормальные пределы, это означает, что один из ограничивающих факторов перестает действовать. Так, при **переразгибании** может произойти **задний вывих** (рис. 21) с частичным или полным разрывом связок капсулы или же **перелом заднего края большеберцовой к-**

**ти** (рис. 22) с вторичным задним подвывихом в суставе. Этот подвывих имеет тенденцию к рецидиву даже после соответствующего хирургического лечения. Если «длина дуги» отделившегося фрагмента превышает треть «длины дуги» суставной поверхности большеберцовой кости, необходимо фиксировать такой отломок спицами.

Подобным же образом при **избыточном сгибании** может произойти **передний вывих** (рис. 23) или **перелом переднего края суставной поверхности большеберцовой кости** (рис. 24).

Когда **повреждается наружная коллатеральная связка**, первым страдает ее передний пучок (рис. 25). При легком повреждении он просто растягивается, а при тяжелом - разрывается. При этом клинически, а еще лучше - рентгенологически, можно продемонстрировать симптом **переднего выдвижного ящика**. Таранная кость смещается кпереди, и суставные поверхности большеберцово-таранного сустава, напоминающие шип и паз, перестают быть концентрическими. Если центры дуг не совпадают на 4-5 мм, это говорит о **разрыве переднего пучка наружной коллатеральной связки**.

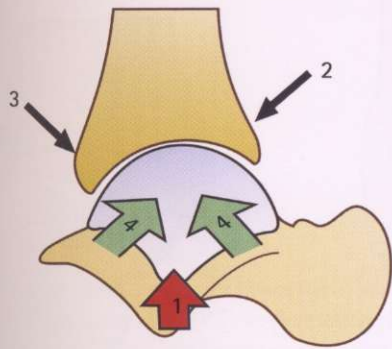


Рис. 20

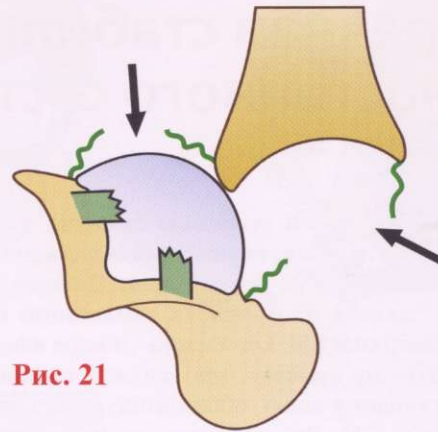


Рис. 21

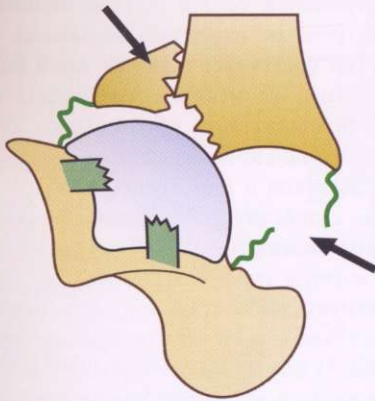


Рис. 22

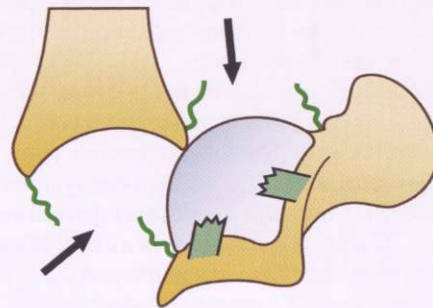


Рис. 23

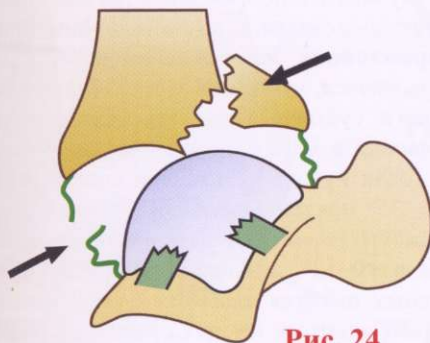


Рис. 24

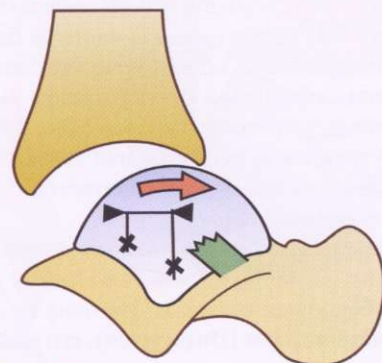


Рис. 25

# Поперечная стабильность голеностопного сустава

Будучи суставом с **одной степенью свободы**, голеностопный сустав не может осуществлять движения в пространстве вокруг двух других осей. Поперечная стабильность зависит от **прочного замыкания его суставных поверхностей**. Он в какой-то мере аналогичен *седловидному суставу*, где «седло» таранной кости прочно входит в вилку, образованную берцовыми костями (рис. 26). Две лодыжки, как две **щечки щипцов**, захватывают таранную кость с обеих сторон, если расстояние между наружной А и внутренней В лодыжками неизменно. Это условие имеется только в том случае, когда лодыжки и нижние межберцовые связки 1 интактны. Мощные наружная 2 и внутренняя 3 коллатеральные связки не дают таранной кости вращаться вокруг ее продольной оси.

При насильственном отведении, когда стопа поворачивается кнаружи, латеральная поверхность таранной кости сталкивается с наружной лодыжкой (рис. 33, стрелка 1). При этом может произойти следующее:

- **Межлодыжечные щипцы перестают функционировать** (рис. 27) из-за разрыва нижних межберцовых связок 1, это приводит к расширению суставной вилки или к *диастазу в голеностопном суставе*. Таранная кость уже не удерживается в вилке плотно и двигается из стороны в сторону (погремушка). Она может (рис. 28) *вернуться вокруг своей продольной оси* (наклон), что легче происходит при *повреждении внутренней коллатеральной связки 3* (на рисунке эта связка растянута, пребывая в состоянии *легкого повреждения*). Таранная кость может повернуться (рис. 33) *вокруг своей вертикальной оси* (стрелка Abd) так, что задняя часть ее блоковидной поверхности ломает задний край суставной поверхности большеберцовой кости (стрелка 2).
- Если приведение продолжается (рис. 32), разрывается внутренняя коллатеральная связка 3. *Тяжелое повреждение этой связки* сочетается с *диастазом голеностопного сустава 1*.
- Может произойти *одновременный перелом внутренней В* (рис. 30) и *наружной А лодыжек* выше нижних межберцовых связок 1. Это одна из форм **перелома Дюпюитрена (Dupuytren)**, его высокий вариант. Иногда малоберцовая кость ломается значительно выше — на уровне шейки, это **перелом Мэзоннева (Maisonneuve)** (здесь он не показан).
- Очень часто нижние межберцовые связки сопротивляются разрыву (рис. 29), особенно передняя. В этом случае *перелом внутренней лодыжки В* сочетается с переломом наружной лодыжки на уровне нижнего межберцового сустава или выше него. Это еще одна из форм **перелома Дюпюитрена (Dupuytren)**, его **низкий** вариант. Иногда внутренняя лодыжка не ломается (рис. 31), но происходит *разрыв внутренней коллатеральной связки 3*. При **низких** переломах Дюпюитрена от «третьей лодыжки» часто **опалывается фрагмент (задний край большеберцовой кости)**; он может представлять собой отдельный фрагмент или образовывать одно целое с частью медиальной лодыжки.
- Кроме вывихов и переломов, обусловленных отведением, существуют **двухлодыжечные переломы при приведении** (рис. 34). При приведении пальцев стопы *кнутри* таранная кость (рис. 33) вынуждена поворачиваться вокруг своей вертикальной оси (стрелка Add), и ее внутренняя щека отламывает (стрелка 3) внутреннюю лодыжку В (рис. 34). Таранная кость в это время также наклоняется, и это приводит к *перелому наружной лодыжки А* на уровне суставной поверхности большеберцовой кости.
- Однако большей частью приведение приводит не к перелому лодыжек, а к **повреждению наружной коллатеральной связки**. К счастью, в большинстве случаев это повреждение легкое — *растяжение, а не разрыв связки*. С другой стороны, при **тяжелых повреждениях** наружная коллатеральная связка *разрывается*, что ведет к нестабильности голеностопного сустава. Переднезадняя рентгенограмма, сделанная в *положении насильственного приведения* (если нужно, под общей анестезией), **покажет** (рис. 35) *наклон таранной кости*. Суставные поверхности перестают быть параллельными, образуя угол в 10-12°, открытый кнаружи. У некоторых больных имеется слабость связок голеностопного сустава, поэтому им для сравнения рекомендуется производить рентгенографию второго (интактного) голеностопного сустава. Тяжелое повреждение требует порой хирургического вмешательства.
- **Повреждения межлодыжечных щипцов требуют лечения** для восстановления структуры и функциональной целостности голеностопного сустава.

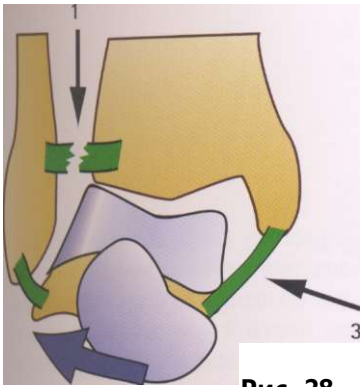


Рис. 28

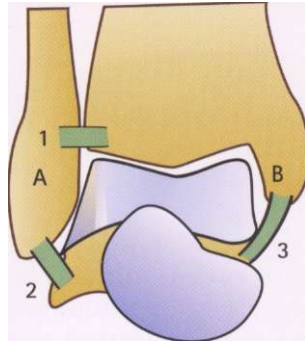


Рис. 26

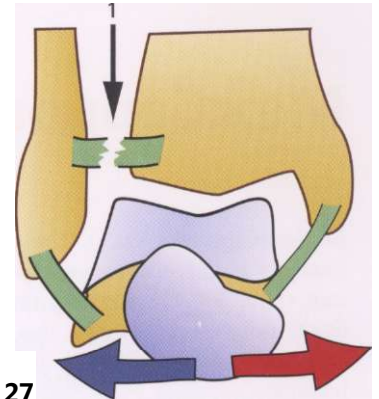
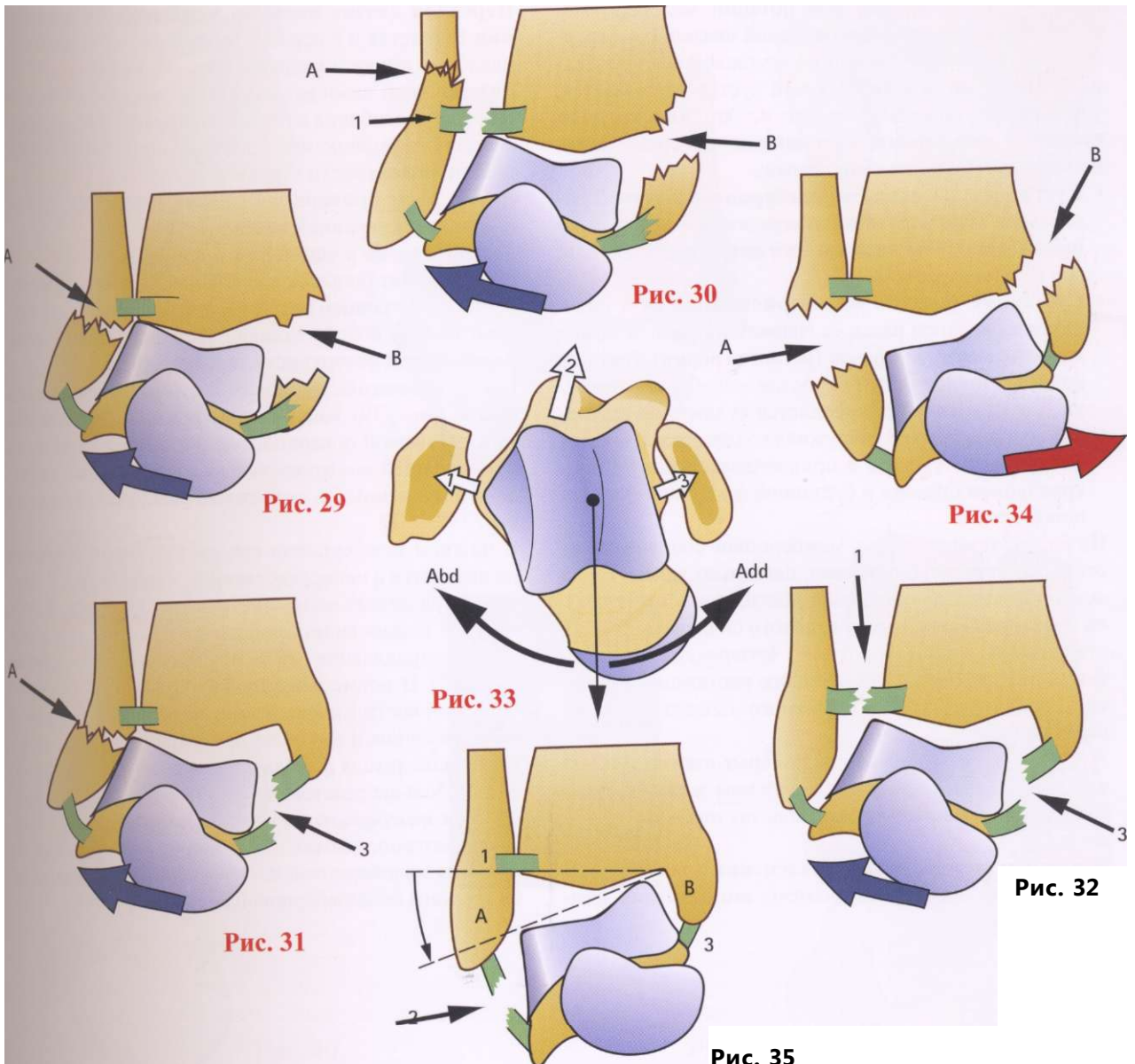


Рис. 27



# Межберцовые сочленения

Большеберцовая кость сочленяется с малоберцовой наверху и внизу, образуя **верхнее** (рис. 36-38) и **нижнее** (рис. 39-41) **межберцовые сочленения**. Далее будет показано, что *оба эти сочленения механически связаны между собой и с голеностопным суставом*, и поэтому логично будет рассматривать их в этой взаимосвязи.

**Верхнее межберцовое сочленение** отчетливо видно (рис. 36, вид снаружи) при ротации малоберцовой кости после пересечения передней связки 1 и переднего растяжения 2 сухожилия двуглавой мышцы бедра 3. После этого межберцовый сустав открывается, удерживаясь на задней связке 4. Это **плоскостной сустав** с овальными суставными поверхностями, плоскими или слегка выпуклыми:

- **Суставная фасетка большеберцовой кости 5** образована задненаружной поверхностью края ее мыщелка; она ориентирована *косо кзади, книзу и кнаружи* (белая стрелка).
- **Суставная фасетка малоберцовой кости 6** находится на верхней части ее головки и ориентирована *кпереди, кверху и кнутри* (белая стрелка). Над ней нависает шиловидный отросток малоберцовой кости 7, к которому прикрепляется сухожилие двуглавой мышцы бедра 3. Наружная коллатеральная связка коленного сустава 8 прикрепляется между прикреплением бицепса и суставной фасеткой малоберцовой кости.

На рис. 37 (*вид снаружи*, межберцовое сочленение не открыто) отчетливо показано, насколько далеко кзади лежит головка малоберцовой кости; здесь также видна передняя связка 1 межберцового сочленения, представляющая собой короткий, четырехугольный по форме тяж, и толстое сухожильное растяжение бицепса 2, заканчивающееся у наружного мыщелка большеберцовой кости.

Рис. 38 (*вид сзади*) показывает тесные взаимоотношения подколенной связки 9 с верхним межберцовым сочленением, поскольку она скользит по своей задней связке 4.

В **нижнем межберцовом сочленении** (рис. 39) суставной хрящ отсутствует, поэтому его называют **син-**

**десмозом**. Суставная фасетка 1 большеберцовой кости **вогнута**, ограничена двумя губами наружного края большеберцовой кости, сочленяется с **суставной фасеткой малоберцовой кости 2** - выпуклой, плоской или даже вогнутой. Она переходит в высланную хрящом суставную малоберцовую 3 фасетку голеностопного сустава, куда прикрепляется задний пучок 4 наружной коллатеральной связки 4.

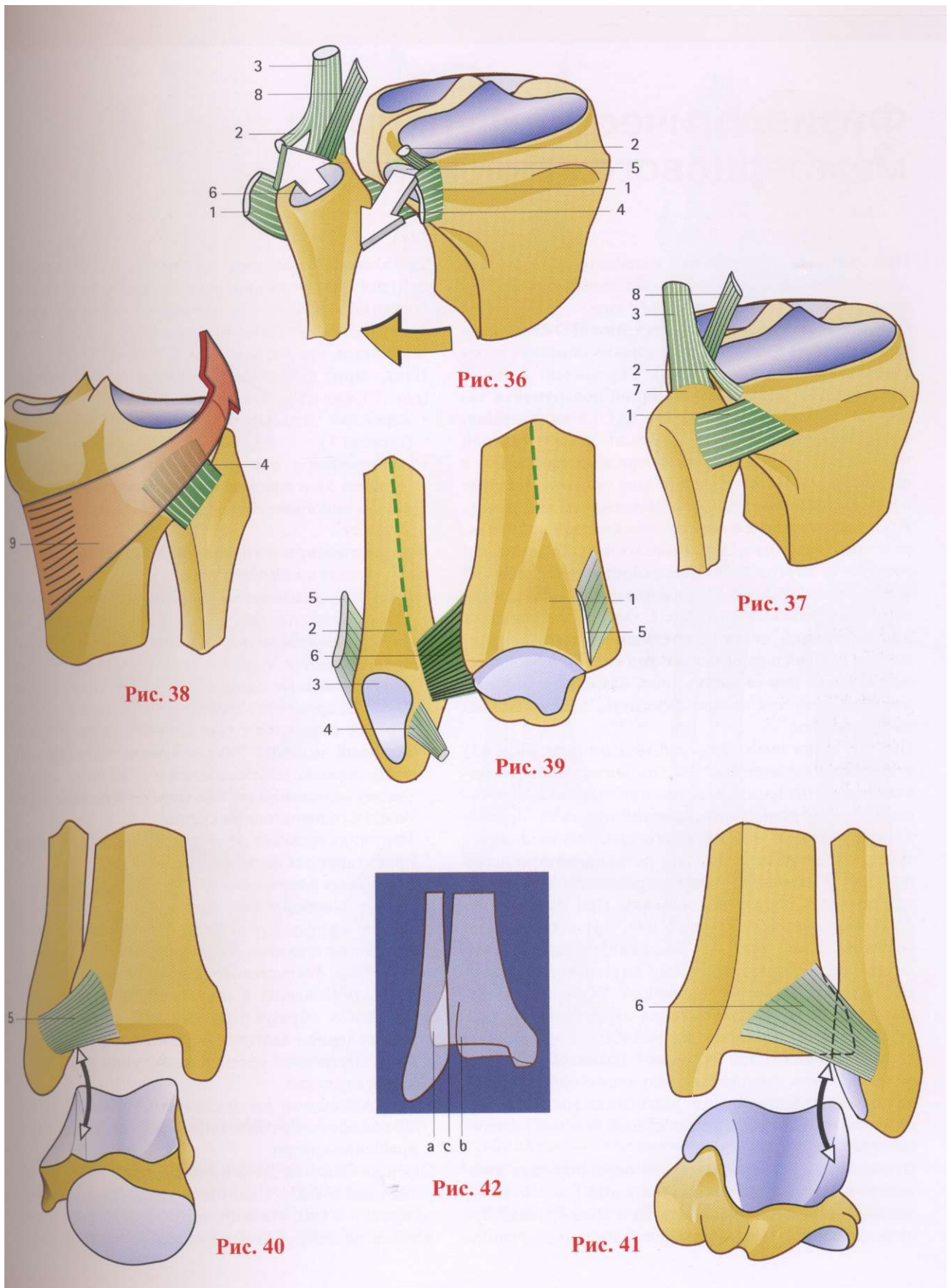
**Передняя связка нижнего межберцового сочленения 5**, толстая и с перламутровым отливом, проходит наклонно книзу и кнаружи (рис. 40, вид спереди), ее нижний край нависает над суставным пазом *снаружи* и во время сгибания в голеностопном суставе *«тянет»* переднюю часть латерального гребня блоковидной поверхности таранной кости (**двойная стрелка**). В этом причина уплощения наружного гребня (ребра) тела таранной кости.

**Задняя связка 6** еще толще и шире (рис. 41, вид сзади), проходит большое расстояние до своего прикрепления к внутренней лодыжке; при разгибании она также *«тянет за собой»* заднюю часть наружного гребня блоковидной поверхности таранной кости.

Кроме названных, берцовые кости соединены между собой (рис. 39) **межкостной связкой**, проходящей между боковой поверхностью большеберцовой кости и внутренней поверхностью малоберцовой кости (зеленый пунктир). Об этой связке еще будет сказано на стр. 230—232.

В нижнем межберцовом сочленении берцовые кости не находятся в непосредственном контакте друг с другом, их разделяет **волокнисто-жировая ткань**; и этот просвет можно видеть на рентгенограммах при хорошей централизации луча на голеностопный сустав (рис. 42). В норме рентгенологическая тень от малоберцовой кости **с** наслаивается на передний бугорок а большеберцовой кости на протяжении 8 мм, и лишь на 2 мм не доходя до заднего бугорка б. Если расстояние **сб** больше расстояния **ас**, говорят о наличии **диастаза в межберцовом суставе**. Заметьте, что на **прямых** рентгенограммах четко видно, что лодыжка со стороны малоберцовой кости *опущена* ниже лодыжки со стороны большеберцовой кости.





# Физиологические функции межберцового сочленения

При сгибании и разгибании голеностопного сустава *автоматически включаются оба межберцовых сочленения, механически связанные с ним.*

Сначала в действие вовлекается **нижнее межберцовое сочленение**. Его функция хорошо описана Полем Ле Кером (Pol le Coeur, 1938). Она зависит преимущественно от **формы блоковидной поверхности таранной кости** (рис. 43, вид сверху). Ее **внутренняя, большеберцовая щечка Т** лежит в сагиттальной плоскости, а **наружная, малоберцовая щечка Р** - в плоскости, которая ориентирована *наклонно кпереди и кнаружи*. Поэтому ширина блоковидной поверхности на 5 мм меньше сзади **aa'**, чем спереди **bb'**. В связи с этим, если бы можно было плотно обхватить наружную и внутреннюю поверхности тела таранной кости, *межлодыжечное пространство варьировало бы в определенных пределах i*, будучи наименьшим при разгибании, когда латеральная лодыжка приближается к медиальной (рис. 44, вид снизу), и наоборот, наибольшим при сгибании (рис. 45). На трупе голеностопный сустав можно разогнуть, просто сильно сжав лодыжки.

При изучении анатомической модели (рис. 44 и 45) становится очевидным, что это движение, заключающееся в отдалении и сближении лодыжек, сочетается с *осевой ротацией наружной лодыжки*, причем передняя связка межберцового сочленения 1 действует, как дверная петля. Эту ротацию можно легко показать с помощью спицы, проведенной горизонтально через наружную лодыжку. При переходе из положения разгибания (пп', рис. 44) в положение сгибания (**mm'**, рис. 45) лодыжка поворачивается кнутри на 30°. Одновременно натягивается задняя связка межберцового сочленения 2. Обратите внимание на то, что в жизни ротация наружной лодыжки кнутри менее выражена, но тем не менее присутствует. **Синовиальная бахрома f**, находящаяся внутри сочленения, смещается следующим образом: когда лодыжки сближены при разгибании (рис. 46), она оттесняется книзу 1, а при сгибании (рис. 47) подтягивается кверху 2.

И, наконец, малоберцовая кость **осуществляет движения в вертикальном направлении** (рис. 48 и 49; малоберцовая кость представлена в виде бруска). Будучи связанной с большеберцовой костью *волокнами*

*межкостной мембраны, идущими косо книзу и кнаружи* (для простоты на рисунке черным цветом показано только одно волокно), малоберцовая кость слегка **приподнимается**, отдаляясь от большеберцовой (рис. 49), и **опускается**, приближаясь к ней (рис. 48).

Итак, **при сгибании в голеностопном суставе** (рис. 50, вид спереди):

- наружная лодыжка *отдаляется от внутренней* (стрелка 1),
- одновременно она *слегка подтягивается кверху* (стрелка 3), а волокна межберцовых и межкостной связок приобретают *более горизонтальное направление xx'*-

**При разгибании в голеностопном суставе** (рис. 51, вид спереди) происходит обратное:

- лодыжки *сближаются* (стрелка 1), это движение *активно*, как показал Поль Ле Кер: сокращение задней большеберцовой мышцы, волокна которой прикрепляются к обоим костям голени, *сближает межлодыжечные щипцы голеностопного сустава* (рис. 52; срез через нижнюю часть правой голени: стрелки показывают сокращение волокон большеберцовой мышцы). Таким образом, тело таранной кости *хорошо удерживается в суставных щипцах (вилке) независимо от величины сгибания или разгибания* в голеностопном суставе.
- Наружная лодыжка *опускается* (стрелка 2), а *связки ориентируются более вертикально* у\
- Она *слегка поворачивается кнутри* (стрелка 3).

**Верхнее межберцовое сочленение** вовлекается в действие в результате движений наружной лодыжки:

- При осуществлении *сгибания в голеностопном суставе* (рис. 49) суставная фасетка малоберцовой кости скользит кверху **h**, и суставное пространство открывается, образуя угол открытый книзу в *связи с расхождением лодыжек (красная стрелка)* и кзади из-за внутренней ротации малоберцовой кости (**розовая стрелка**).
- При *разгибании голеностопного сустава* (рис. 48) происходит обратное опущение, закрытие угла и вращение кнутри.

Эти перемещения очень незначительны, но все же они имеют место быть. Наилучшее доказательство их **значимости** — в том, что в процессе эволюции человека в *верхнем межберцовом сочленении не образовалась ан-*

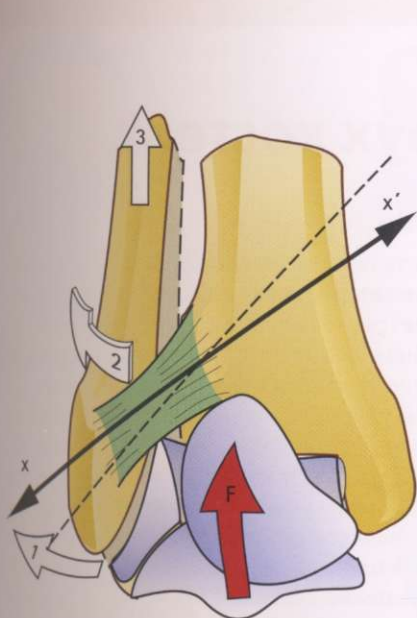


Рис. 50

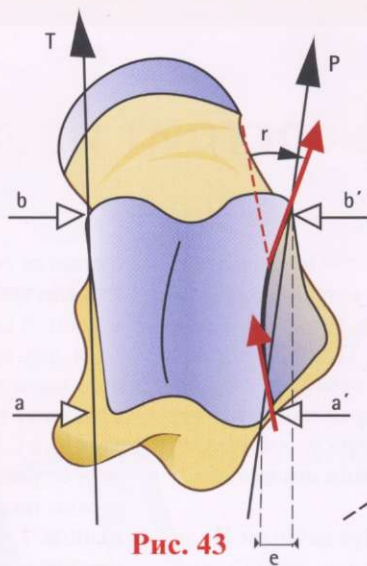


Рис. 43

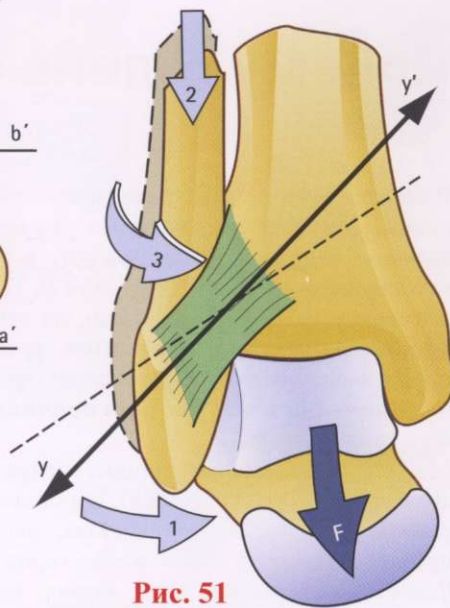


Рис. 51

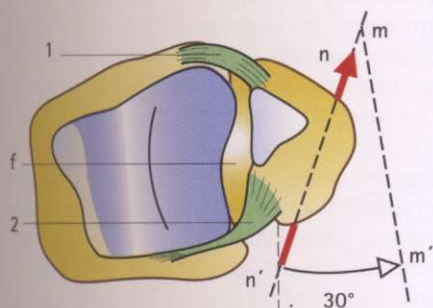


Рис. 44

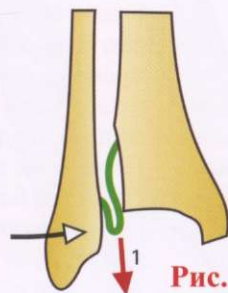


Рис. 46

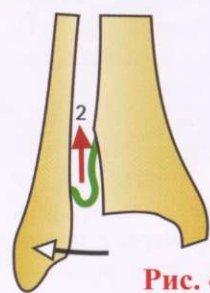


Рис. 47

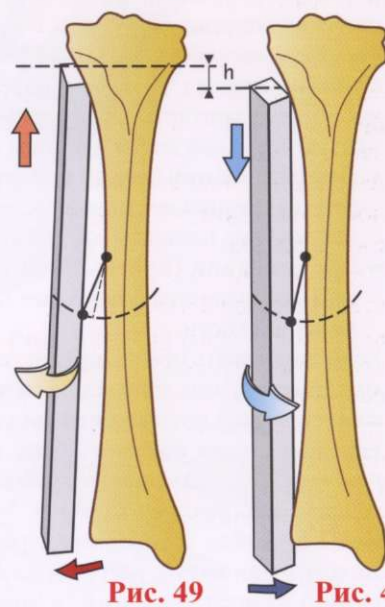


Рис. 49

Рис. 48

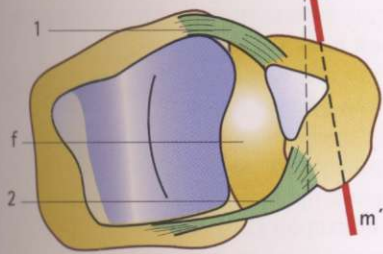


Рис. 45

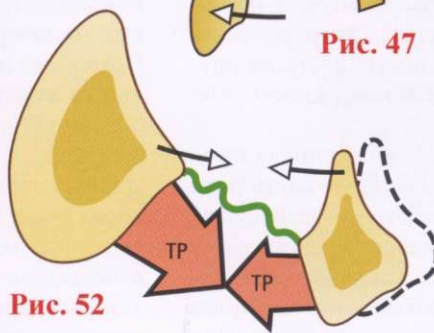


Рис. 52

килоз, что неминуемо произошло бы, если бы этот сустав не работал.

Таким образом, благодаря наличию межберцовых сочленений, связок и задней большеберцовой мышцы щипцы голеностопного сустава могут постоянно адаптироваться к изменениям ширины и кри-

визны таранной кости и обеспечивать **поперечную стабильность голеностопного сустава**. Именно в целях сохранения этой способности к адаптации в последние годы стали отказываться от **остеосинтеза спицами** при лечении диастаза голеностопного сустава.

# Почему голень состоит из двух костей?

В первом томе был поставлен вопрос: «Почему предплечье состоит из двух костей?» - на который мы постарались ответить, найдя причину в таком явлении, как пронация-супинация (см. том I). Такой же вопрос ставится и в отношении голени, но ответ тут совсем другой, потому что продольное вращение голени обеспечивается коленным суставом, при условии если он согнут. **Так в чем же тогда причина двукостного строения голени?**

Можно ответить на этот вопрос, следуя работам **Поля Ле Кера (Pol Le Coer, 1938)**. Он описал функционирование голеностопного сустава, являющегося, по сути, суставом с «изменяющейся геометрией».

Ранее были описаны последствия, вытекающие из особенной формы **тела таранной кости** - в форме блока (рис. 53, вид на таранную кость спереди), более широкая впереди, чем сзади, с вогнутой и скошенной наружной щечкой. От полного разгибания до полного сгибания нижняя суставная поверхность большеберцовой кости контактирует с верхней суставной поверхностью таранной кости в разном объеме (рис. 54):

- При **разгибании (синий контур)** задняя узкая часть блока таранной кости контактирует с большеберцовой костью; площадь контакта минимальна;
- При **сгибании (красный контур)** большеберцовая кость сочленяется с наиболее широкой частью тела таранной кости.

Если нарисовать обе поверхности раздельно (рис. 55), мы заметим, что площадь контакта впереди протяженнее задней поверхности контакта. Это становится еще яснее, если наложить одну поверхность на другую (рис. 56): передняя контактная поверхность покрывает заднюю со всех сторон.

Необходимость в подобном строении возникла из-за того, что при ходьбе нагрузка на таранную кость **максимальна при сгибании**, в момент, когда несущая нога переносится впереди по отношению к ноге, стоящей на земле. В это время контакт между двумя костями максимален. А вот **при разгибании нагрузка уменьшается** и стабильность менее необходима. При этом площадь контакта минимальна.

Подобное изменение ширины блоковидной поверхности тела таранной кости требует **постоянной подгонки размера зазора между двумя поверхностями лодыжек**, чего можно добиться только благодаря разделению «большеберцово-малоберцового паза» на две части, откуда следует, что он должен *состоять из двух костей*.

Остается решить один деликатный вопрос - **постоянная настройка зазора между лодыжками**. На сплюснутой схеме (рис. 57) показаны тело таранной кости и два крайних положения межлодыжечных щипцов: расходящиеся щипцы при сгибании **F (красные стрелки)** и смыкающиеся при разгибании **E (синие стрелки)**. Именно тут в работу вступает приспособление (рис. 58, вид сзади на скелет голени), которое можно назвать *гениальным* - задняя большеберцовая мышца Т, являющаяся разгибателем голеностопного сустава и прикрепляющаяся к двум костям. Таким образом, ее сокращение сближает эти кости. В момент разгибания голеностопного сустава эта мышца **одновременно** обеспечивает разгибание и приближение латеральной лодыжки к медиальной, т.е. приспособление к наименьшему размеру тела таранной кости. По тому же принципу, но в меньшей степени работает сгибатель большого пальца 2. Таким образом, регулирование зазора межлодыжечных щипцов при разгибании активно и имеет мышечную основу.

А вот при сгибании регулирование пассивно. Расхождение лодыжек вызвано постепенным увеличением размера тела таранной кости, которое контролируется связками, и ранее названными мышцами, противодействующими сгибанию голеностопного сустава. Стоит отметить, что изгиб наружной щечки таранной кости является следствием того, что давление на фасетку малоберцовой кости всегда перпендикулярно ее поверхности, откуда вытекает **автоматическая ротация малоберцовой кости** по своей продольной оси. Появление **двух костей в среднем отрезке всех четырех конечностей** уходит корнями на **400 (00 00)** лет назад (рис. 59, превращение плавника **a** в лапы **b** и **c**), когда в середине девонского периода палеозойской эры наш дальний предок - малоизвестная кистеперая рыба Остеноптерон (Eusthenopteron) (рис. 60) вышла из воды и вследствие *трансформации своих плавников в лапы* стала *четвероногим*, похожим на ящерицу или современного крокодила. Постепенная реорганизация ее плавников сохранила для проксимального сегмента только участок **h**, а для среднего сегмента - два соседних участка, будущие лучевая **г** и локтевая и кости или большеберцовая и малоберцовая кости для голени, за ними следуют кости запястья или предплюсны и пять лучей пальцев **ры** или ноги, образуя, таким образом, прототип для **всех** позвоночных.



Рис. 53

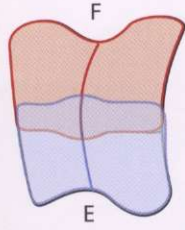


Рис. 54

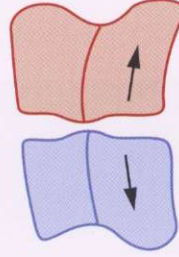


Рис. 55

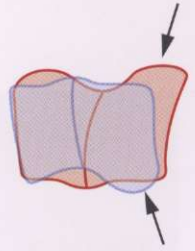


Рис. 56

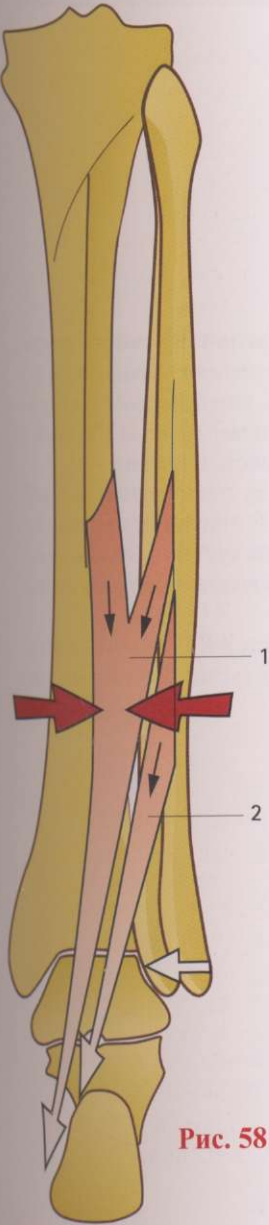


Рис. 58

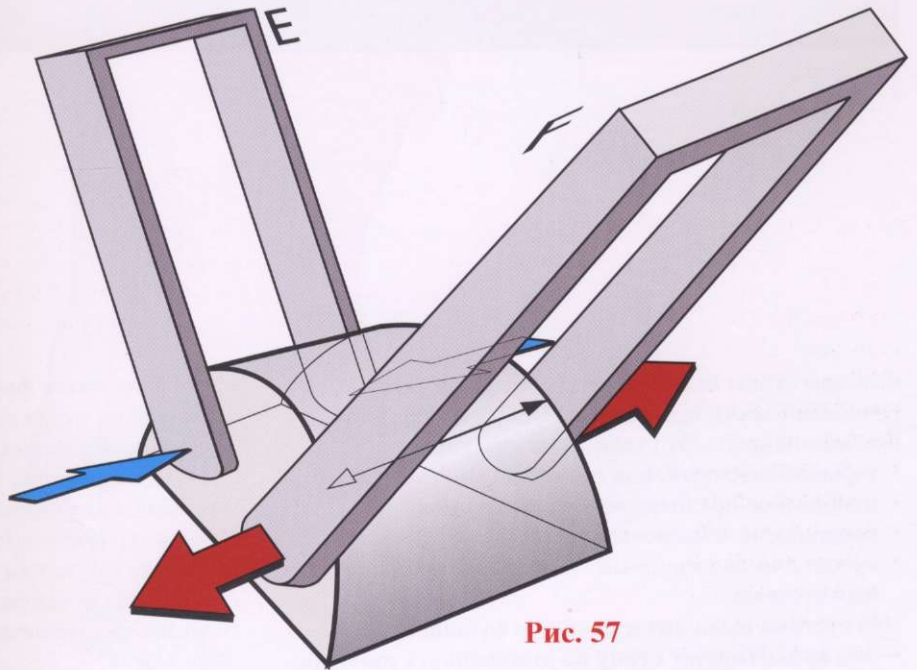


Рис. 57

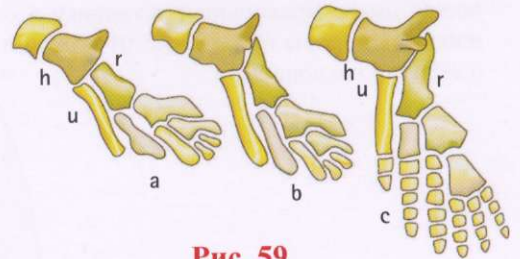


Рис. 59

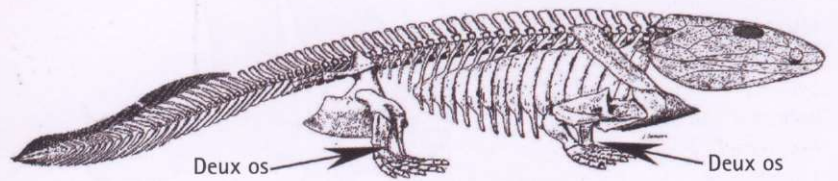


Рис. 60

## Глава 4

# суставы СТОПЫ

Суставы стопы многочисленны и весьма сложны, они сочленяют кости предплюсны между собой, а также с костями плюсны. Это такие суставы, как:

- таранно-пяточный, или подтаранный, сустав,
- поперечное предплюсневое сочленение,
- предплюсно-плюсневый сустав,
- кубовидно-ладьевидный и клиновидно-ладьевидный суставы.

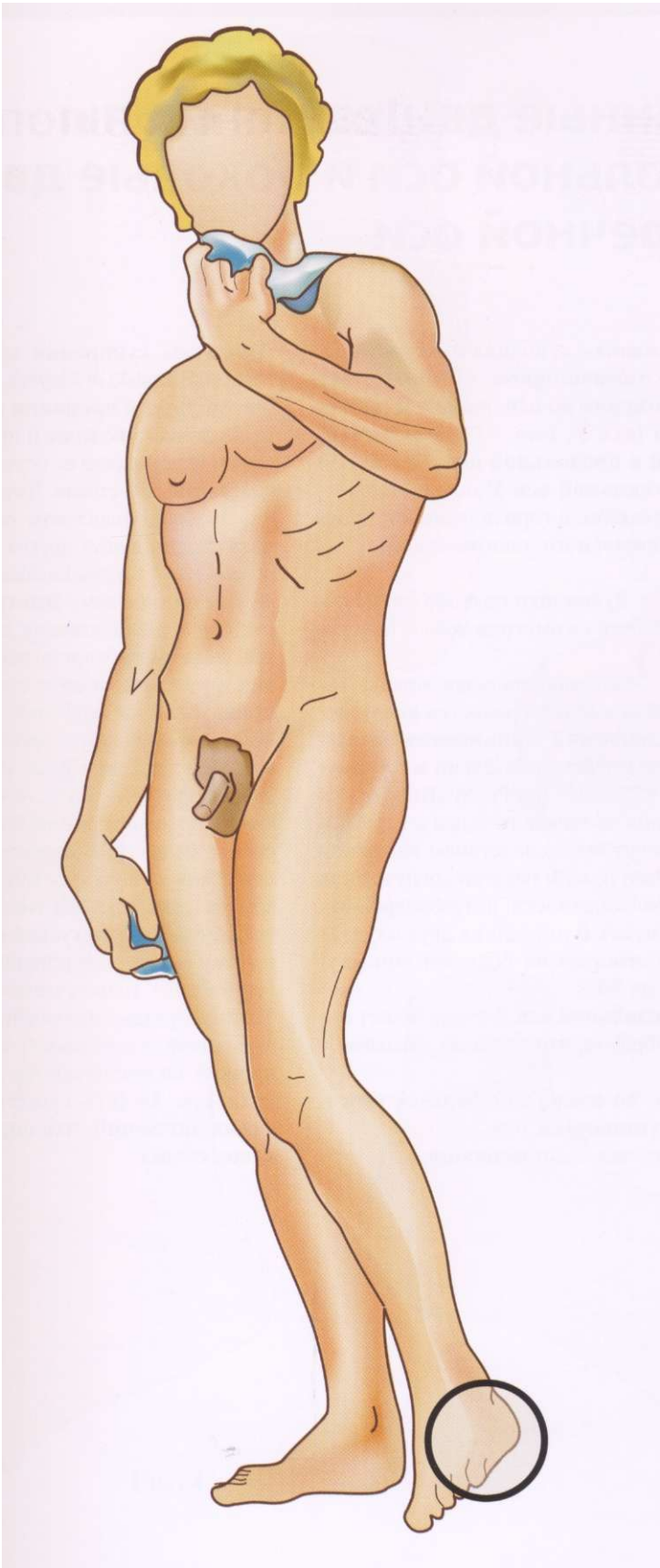
Эти суставы выполняют двойную функцию:

- они **ориентируют стопу** по отношению к двум другим осям (голеностопный сустав контролирует движения стопы в сагиттальной плоскости), чтобы подошва имела правильную установку в отношении плоскости опоры независимо от положения голени и степени наклона пола;

- они **изменяют форму и величину сводов стопы** чтобы она могла адаптироваться к неровностям поверхности. Таким образом, они действуют *в качестве амортизатора* между поверхностью и стопой и придают походке эластичность и грацию.

Исходя из сказанного, эти суставы играют **важнейшую** роль в функции стопы. В отличие от них **плюснефаланговые** и **межфаланговые** суставы *намного менее значимы по сравнению с соответствующими суставами кисти*.

Но один из них, тем не менее, очень важен для ходьбы — это **плюснефаланговый сустав большого пальца** стопы.



# Ротационные движения стопы по продольной оси и боковые движения по поперечной оси

В дополнение к движениям сгибания и разгибания, осуществляемым в голеностопном суставе, стопа может совершать движения по отношению к **вертикальной оси голени (ось У, стр. 177)** и **собственной горизонтальной и продольной оси (ось Z)**. По отношению к вертикальной оси У осуществляются **приведение и отведение** в горизонтальной плоскости, исходя из нормального положения (рис. 1, стопа спереди):

- при приведении (рис. 2) кончики пальцев стопы перемещаются к плоскости симметрии тела и поворачиваются внутрь;
- при отведении (рис. 3) кончики пальцев отдаляются от оси симметрии тела и поворачиваются кнаружи.

**Общая амплитуда движений приведения-отведения**, если они происходят исключительно в суставах стопы, составляет от 35° до 45° (по Роуду (Roud)). Однако такие же движения кончиков пальцев в горизонтальной плоскости могут быть следствием наружной или внутренней ротации голени (колено согнуто) или ротации всей нижней конечности в тазобедренном суставе (колено разогнуто). В последних двух случаях они могут достигать значительно большей амплитуды, доходя у балерин до 90°.

**По отношению к продольной оси Z** стопа может поворачиваться таким образом, что подошва оказывается повернутой:

- кнутри (рис. 4), что по аналогии с верхней конечностью называют **супинацией**, или
- кнаружи (рис. 5), что называют **пронацией**.

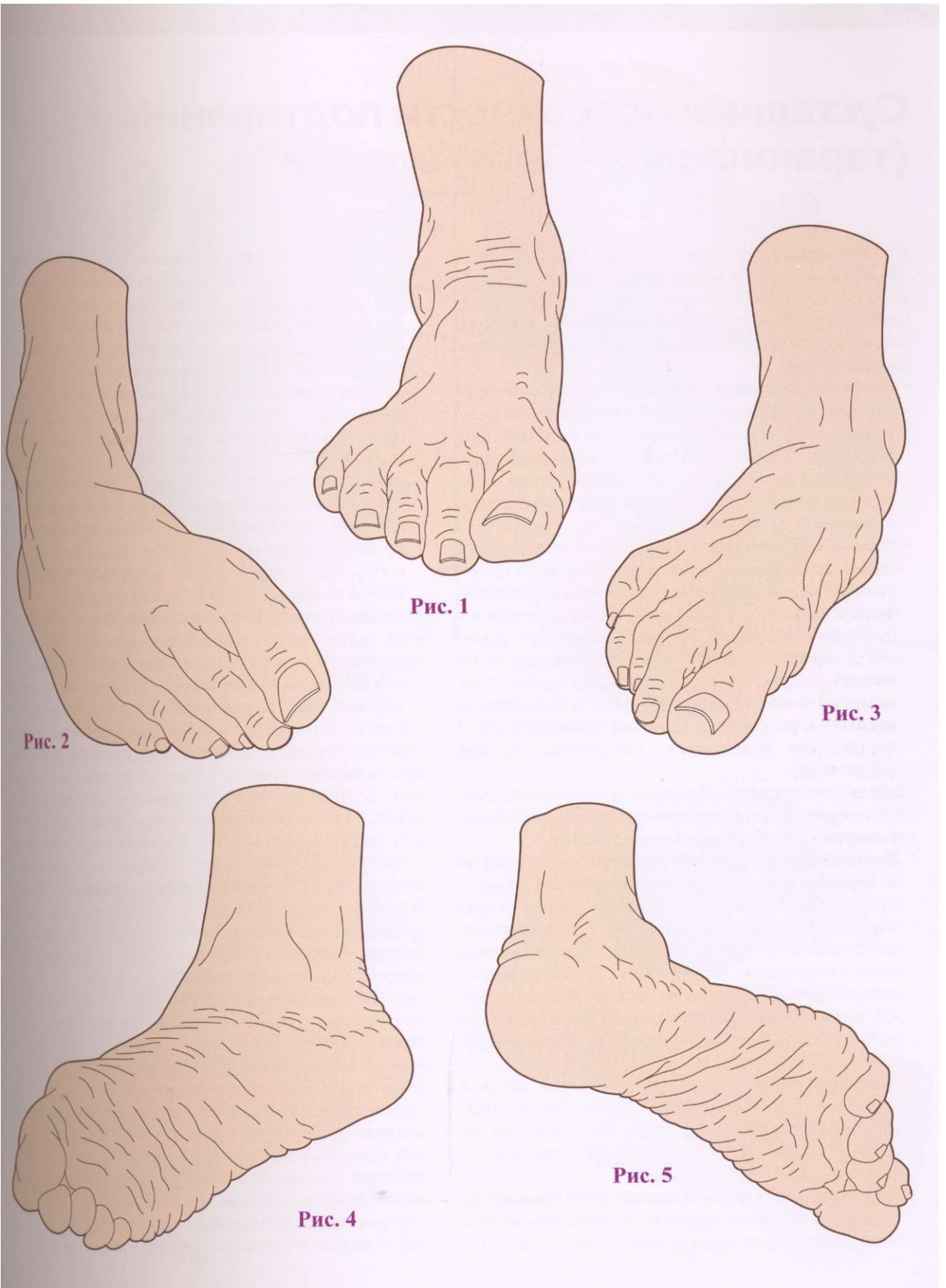
Амплитуда **супинации** составляет 52° (Бьесалски и Майер (Biesalski & Mayer), 1916), что значительно больше амплитуды **пронации** (25-35°).

Приведение-отведение и пронация-супинация стопы на самом деле никогда не осуществляются только за счет ее собственных суставов. Далее будет показано, что **движения** в одной плоскости обязательно сопровождаются движениями в двух других плоскостях. Так, **приведение обязательно сопровождается** (рис. 2 и 4) **супинацией и легким разгибанием**. Эти три компонента движения **характерны** для положения, называемого **инверсией стопы**. Если разгибание выключается посредством сгибания в голеностопном суставе, то получается **варусная стопа**. Если же наружная ротация голени в коленном суставе компенсирует приведение стопы, то получаемое при этом движение будет **чистой супинацией**.

И, наоборот (рис. 3 и 5), **отведение обязательно сочетается с пронацией и сгибанием**, это приводит к **эверсии стопы**. Если сгибание выключается равным ему по силе разгибанием в голеностопном суставе (на схематическом рисунке показана гиперкомпенсация в эверсии), то получается **вальгусная стопа**. Если же в дополнение к этому внутренняя ротация голени компенсирует отведение стопы, то получается **чистая пронация**.

Таким образом, приведение никогда не сочетается с пронацией, а отведение - с супинацией, только если в процесс не вмешиваются другие суставы нижней конечности. **То есть существуют запрещенные сочетания движений, что определяется строением суставов стопы.**





# Суставные поверхности подтаранного (таранно-пяточного) сустава

Нижняя поверхность таранной кости А (рис. 6, таранная кость отделена от пяточной и ротирована по отношению к оси  $xx'$ , образуя шарнир) сочленяется с верхней поверхностью пяточной кости В. Эти две кости контактируют суставными фасетками, образуя подтаранный сустав:

- **Задняя поверхность таранной кости а** находится в контакте с верхней **широкой поверхностью а'** пяточной кости (это образование еще называют бугром Дэсто (Destot)). Эти поверхности объединены связками и капсулой, так что данный сустав представляет собой самостоятельное анатомическое образование.
- **Небольшая площадка б** на нижней поверхности шейки и головки таранной кости опирается на **переднюю поверхность пяточной кости Б'**, расположенную наклонно и поддерживаемую маленьким и большим отростками. Эти две поверхности таранной и пяточной костей являются анатомической частью большого сустава, который, кроме того, включает в себя заднюю поверхность ладьевидной кости **д'**, образующую с головкой таранной кости **д** внутреннюю поверхность поперечного сустава предплюсны.

Прежде чем описывать функцию этих суставов, нужно дать представление о форме их сочленяющихся поверхностей. Это **шаровидные сочленения**.

- **Верхняя поверхность пяточной кости а'** по форме напоминает овал, ее длинная ось проходит в передненаружном направлении; она *выпуклая* по отношению к этой продольной оси (рис. 7, вид снаружи; рис. 8, вид изнутри) и *плоская* или слегка вогнутая в перпендикулярном направлении. Поэтому данное анатомическое образование можно рассматривать как часть цилиндра **г**, оси которого *проходят косо в заднепереднем, наружновнутреннем и слегка верхненижнем направлениях*.
- Соответствующая поверхность таранной кости а также имеет цилиндрическую форму с идентичными радиусом и осью, за исключением того, что поверхность таранного «цилиндра» вогнутая (рис. 7), а пяточного — выпуклая.
- Форма **головки таранной кости** в целом **напоминает шар**, а скошенные поверхности по ее окружности можно рассматривать как *суставные фасетки, выре-*

*занные на этом шаре* (красный пунктир) с центром в точке **г** (рис. 6, В). Так, передняя поверхность пяточной кости **Б'** - *двояковогнутая*, а соответствующая ей суставная поверхность таранной кости **б** - *двояковыпуклая* с тем же радиусом изгиба. Очень часто в середине суставной поверхности пяточной кости **Б'** имеется вырезка, по форме напоминающая подошву ботинка (рис. 6, В). Иногда эта суставная поверхность пяточной кости даже подразделяется на две фасетки (рис. 7 и 8), одна из них **е'** поддерживается маленьким отростком, а другая **Б'** - большим. Известно, что стабильность пяточной кости зависит от площади последней фасетки. Иногда таранная кость также имеет две отдельные суставные фасетки **б** и **е**. Передняя поверхность пяточной кости занята суставной поверхностью **h** кубовидной кости.

**Суставная поверхность пяточной кости б'** является также частью значительно большей вогнутой сферической поверхности, которая, кроме того, включает в себя заднюю поверхность ладьевидной кости **д'** и верхний край подошвенной пяточно-ладьевидной связки **с'**. С помощью **дельтовидной связки 5** и капсулы эти поверхности образуют *сферическую полость*, принимающую головку таранной кости. На головке (рис. 6, А) имеются соответствующие суставные фасетки: наибольшая из них **д** сочленяется с ладьевидной костью; между ней, **д** и фасеткой, сочленяющейся с пяточной костью **Б**, имеется треугольный участок **с**, куда входит **пяточно-ладьевидная связка с'**. Подобное сочетание в одном суставе *двух разных по природе типов поверхностей* (рис. 6, С) - шара и цилиндра, является примером особенности биомеханики сустава. Особенность заключается в том, что такой тип сустава может предоставить конгруэнтность своим суставным поверхностям только в одном-единственном положении - *если стопа является опорой всему телу*, т.е. стоя на ровной поверхности, когда *давление распространяется по всей поверхности*. При других положениях стопы существует **обязательная механическая «игра»**, заключающаяся в несоответствии суставных поверхностей, что не имеет большого значения в механическом плане, поскольку *не существует передачи обязанностей от сустава к суставу*. Это пример так называемой *неясной механики*, в отличие от четкой и точной индустриальной механики.

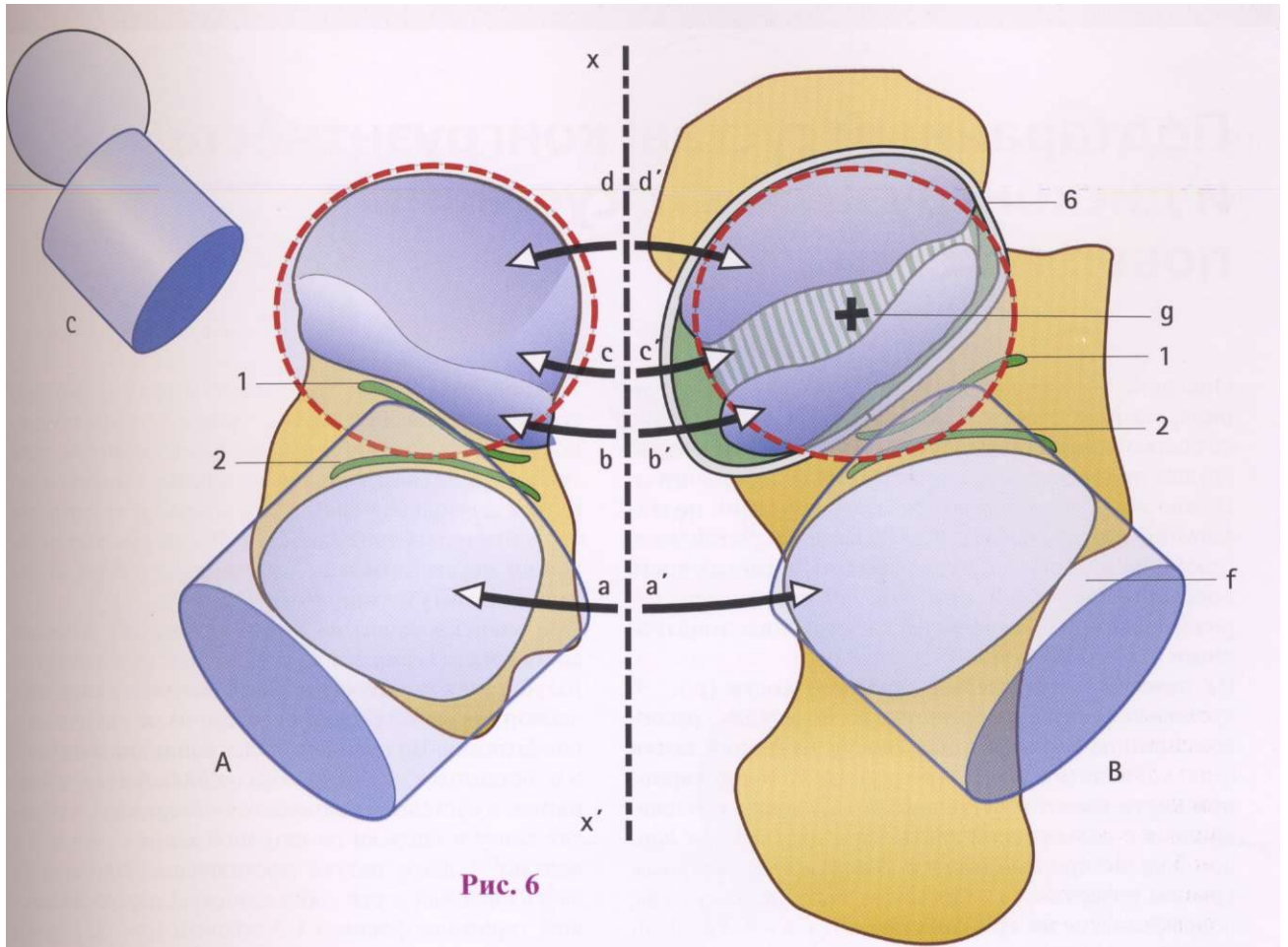


Рис. 6

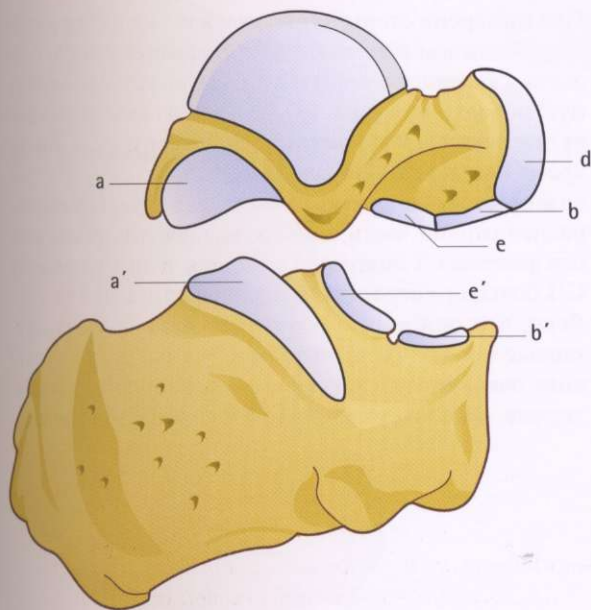


Рис. 7

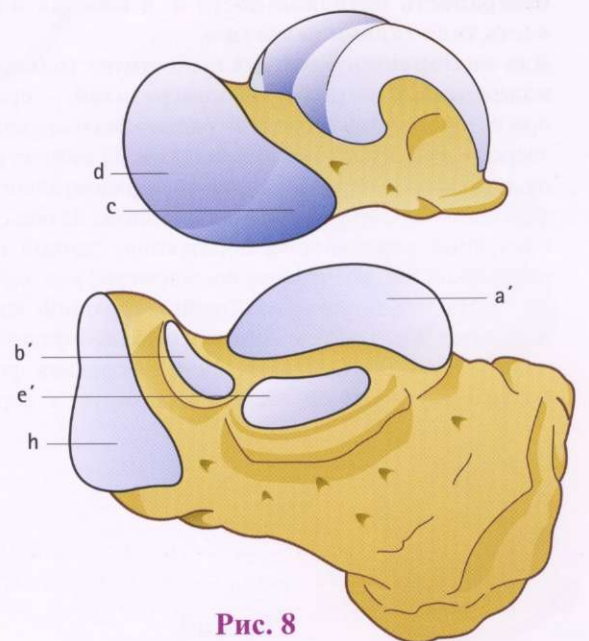


Рис. 8

# Подтаранный сустав: конгруэнтность и дисконгруэнтность суставных поверхностей

Описание сустава, приведенное на предыдущей странице, позволяет понять ориентацию и соответствие сочленяющихся поверхностей друг другу, но из него трудно представить, как этот сустав функционирует. Нужно подробнее охарактеризовать **передний подтаранный сустав**, показанный здесь в открытом виде (рис. 9, показан низ таранной кости), таранная кость повернута к пяточной кости (рис. 10, показан верх передней части пяточной кости) как страницы открытой книги (хх' - ось ротации).

На **нижней части шейки таранной кости** (рис. 9) суставная фасетка *b* соответствует фасетке *Б'*, расположенной на **верхней поверхности пяточной кости** (рис. 10) вблизи малого отростка. На **головке таранной кости** имеются суставные поверхности, сочленяющиеся с ладьевидной костью *e* и дистальным концом большеберцовой кости *d*. Выстланная суставным хрящом поверхность, выходящая за пределы сустава, подразделяется на **три фасетки С1, С2 и С3** в медиально-латеральном направлении, которые соответствуют двум фасеткам *С'1* и *С'2*. Сзади видны две поверхности заднего подтаранного сустава: **верхняя поверхность пяточной кости *a'*** и **нижняя поверхность тела таранной кости *a***.

Для подтаранного сустава существует только одно положение, в котором он конгруэнтен, - среднее, при котором стопа стоит нейтрально без инверсии или эверсии. Оно имеет место при опоре на здоровую стопу в процессе передвижения по горизонтальной поверхности или при симметричной опоре на обе стопы. Суставные поверхности, образующие задний подтаранный сустав, *полностью соответствуют друг другу*. Суставная поверхность шейки таранной кости *b* находится в контакте с соответствующей фасеткой *b<sup>F</sup>* малого отростка пяточной кости, а средняя фасетка *С2* головки таранной кости контактирует с горизон-

тальной фасеткой *С'1* большого отростка. Это **нейтральное положение**, при котором суставные поверхности удерживаются в контакте под действием силы тяжести, а не связками; оно **устойчиво** и может сохраняться длительное время вследствие конгруэнтности сочленяющихся поверхностей. **Все остальные положения неустойчивы и сопряжены с разной степенью дисконгруэнтности сустава.**

При **эверсии** стопы передняя оконечность пяточной кости (рис. 11, вид сверху справа через «прозрачную» голубого цвета таранную кость) смещается **наружу** и «ложится» (рис. 12, вид спереди) на ее **внутреннюю** поверхность. Во время этого движения **две фасетки *b* и *Б'*** остаются в контакте, образуя **блоковидное соединение**, а суставная подтаранная поверхность *a* скользит книзу и впереди по пяточной кости *a'*, приходя в контакт с дном пазухи предплюсны. Задневерхняя часть таранной кости «обнажается». Спереди **маленькая таранная фасетка *С3*** скользит (рис. 12) по поверхности наклонной фасетки *С'2* пяточной кости. Поэтому эти две фасетки *С2* и *С'2* называются **«фасетками эверсии»**.

При **инверсии** стопы пяточная кость смещается в противоположном направлении, ее передний выступ *движется кнутри* (рис. 13) и стремится «лечь» на **наружную** поверхность (рис. 14). Эти **две блоковидные фасетки остаются в контакте друг с другом**, в это время большая подтаранная суставная поверхность *a* «взбирается» на пяточную кость *a'*, открывая свою передне нижнюю часть, а спереди таранная инверсионная фасетка *С1* опирается на горизонтальную фасетку *С'1* большого отростка пяточной кости (рис. 14). Ясно, что описанные положения **нестабильны**, суставные поверхности **дисконгруэнтны**, в этих ситуациях очень велика потребность в лигаментозной поддержке. **Они могут удерживаться лишь на время**

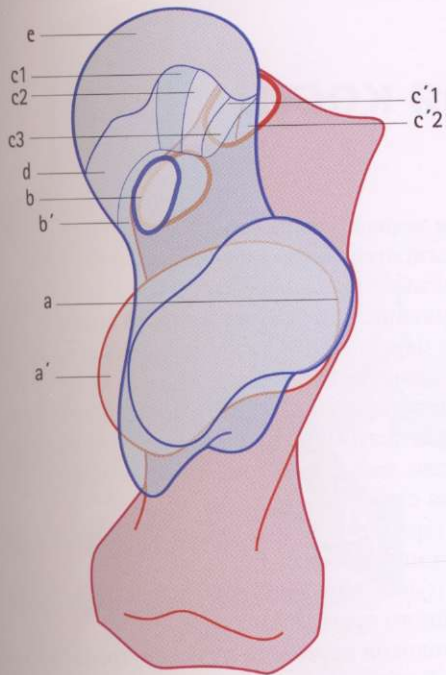


Рис. 11

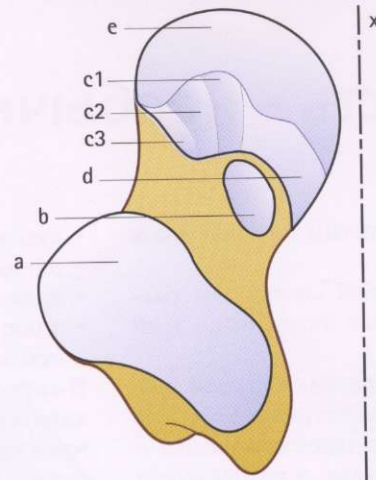


Рис. 9

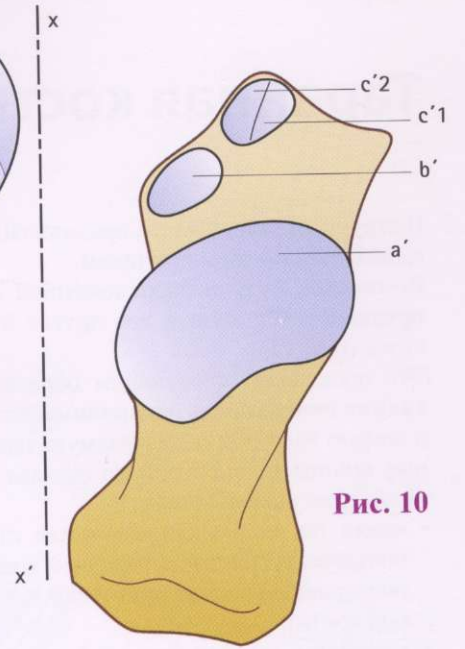


Рис. 10

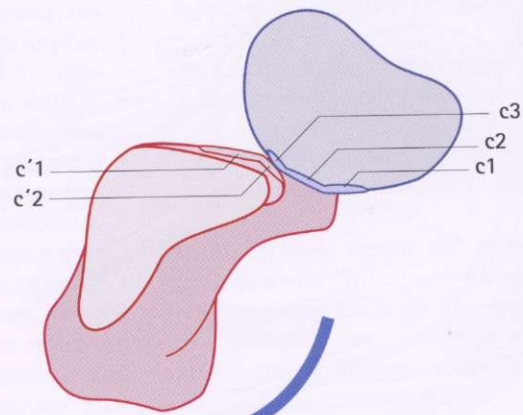


Рис. 12

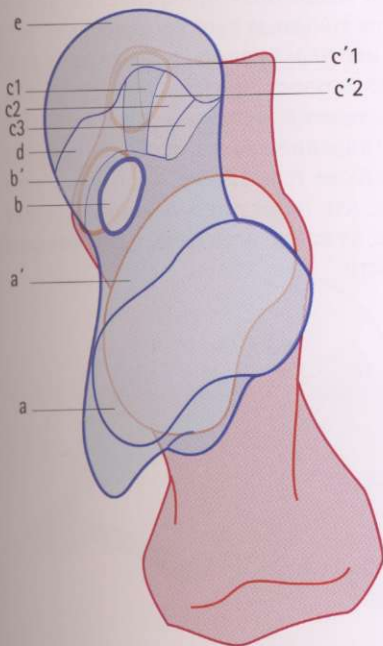


Рис. 13

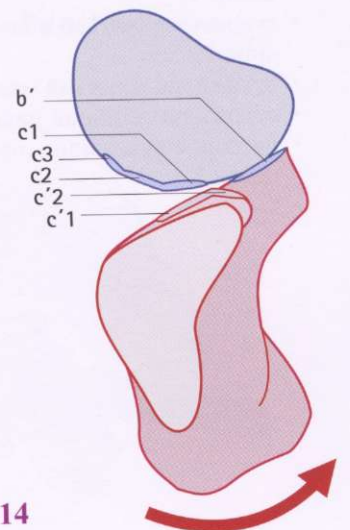


Рис. 14

# Таранная кость - необычная кость

В структуре задней части предплюсны таранная кость выделяется по трем причинам.

Во-первых, будучи расположенной сверху, она **распределяет вес тела** и все другие нагрузки по всей стопе (рис. 15).

Это происходит следующим образом: **верхняя суставная поверхность** воспринимает стрелка 1 вес тела и любую нагрузку, передаваемую через межлодыжечные щипцы голеностопного сустава, и распределяет их по трем направлениям:

- **кзади** по направлению к пятке стрелка 2, т.е. на большую бугристость пяточной кости, через задний подтаранный сустав (пяточная поверхность таранной кости);
- **кпереди и кнутри** стрелка 3 по направлению к медиальному своду стопы через таранно-ладьевидный сустав;
- **кпереди и кнаружи** стрелка 4 по направлению к латеральному своду стопы через передний таранно-пяточный сустав.

Таким образом, таранная кость **«работает»**, **распределяя силы компрессии**, и играет важную механическую роль.

Во-вторых, таранная кость **не имеет собственных мышечных прикреплений** (рис. 16), но окружена мышцами, идущими от голени к стопе, отсюда ее название **«заключенная в клетку»**. Это означает, что она окружена сухожилиями, как клеткой. В число этих сухожилий входят:

- четыре сухожилия длинного разгибателя пальцев стопы 1,
- сухожилие третьей малоберцовой мышцы, непостоянно 2,
- сухожилие короткой малоберцовой мышцы 3,
- сухожилие длинной малоберцовой мышцы 4,
- пяточное сухожилие, окончание икроножного трицепса 5,

- сухожилие задней большеберцовой мышцы 6,
- длинный сгибатель большого пальца стопы 7,
- длинный сгибатель пальцев стопы 8,
- длинный разгибатель большого пальца стопы 9,
- сухожилие передней большеберцовой мышцы 10.

В-третьих, таранная кость полностью **покрыта суставными поверхностями и лигаментозными креплениями**, поэтому ее называют **«релейной станцией»**. В число этих связок (рис. 17, 18) входят:

- межкостная связка 1,
- наружная таранно-пяточная связка 2,
- задняя таранно-пяточная 3,
- передний пучок наружной коллатеральной связки голеностопного сустава 4,
- глубокие волокна переднего пучка внутренней коллатеральной связки голеностопного сустава 5,
- задний пучок внутренней коллатеральной связки голеностопного сустава 6,
- задний пучок наружной коллатеральной связки голеностопного сустава 7,
- передняя часть капсулы голеностопного сустава с ее укрепляющей связкой 8,
- задняя часть капсулы голеностопного сустава с ее укрепляющей связкой 9,
- таранно-ладьевидная связка 10.

Будучи лишенной мышечных прикреплений, таранная кость питается только за счет кровеносных сосудов, входящих в нее через связки, и нескольких прямых сосудов, что создает кровеносное снабжение, которого *едва хватает в нормальных условиях*. При переломах шейки таранной кости, особенно если они сочетаются с вывихом тела тарана, кровоснабжение резко ухудшается, что приводит к **ложному суставу шейки** или (еще хуже) к **асептическому некрозу** тела таранной кости.

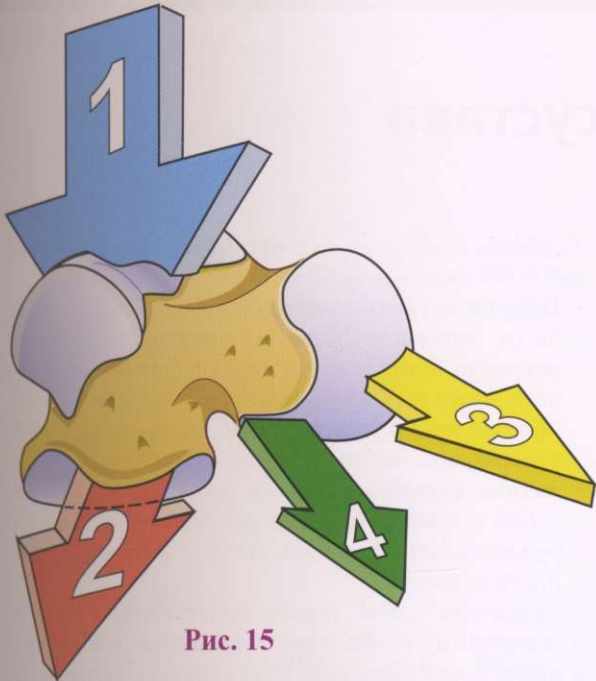


Рис. 15

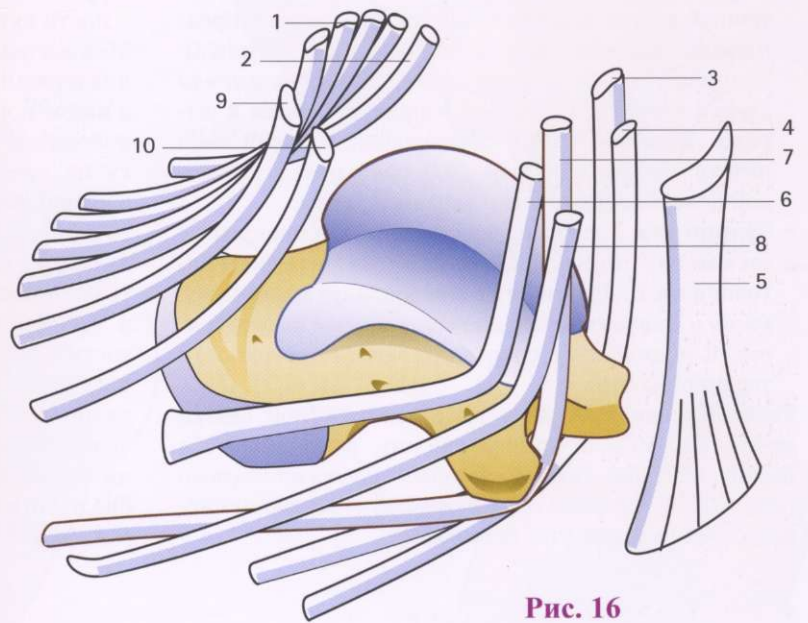


Рис. 16

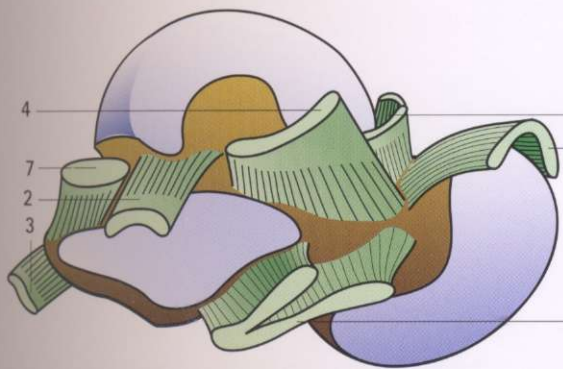


Рис. 17

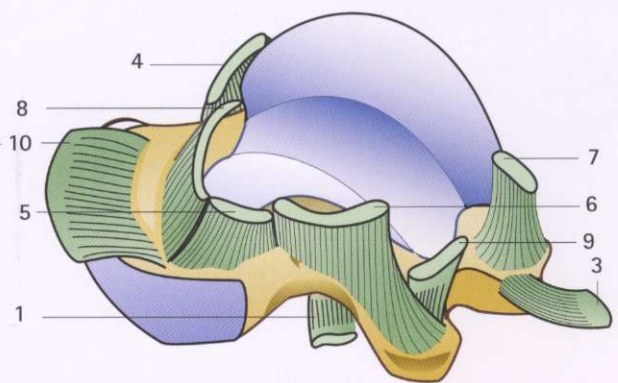


Рис. 18

# Связки подтаранного сустава

Таранная и пяточная кости соединены *короткими, но мощными связками*, поскольку они подвергаются большим нагрузкам при ходьбе, беге, прыжках.

Главной связкой является **межкостная таранно-пяточная** (рис. 19, вид спереди и снаружи), состоящая из **двух фиброзных тяжей**. Эти плотные тяжи четырехугольной формы лежат в пазухе предплюсны - так называется достаточно большое пространство между нижней наружной поверхностью шейки таранной кости и верхней поверхностью передней половины пяточной кости.

- **Передний тяж 1** имеет прикрепление в вырезке пяточной кости, которая образует дно пазухи предплюсны, непосредственно над большим отростком. Его плотные, блестящие волокна идут *наклонно кверху, кпереди и кнаружи* и прикрепляются к вырезке таранной кости, образующей верхний свод пазухи (см. рис. 6, А, стр. 203), сразу позади хрящевой поверхности головки таранной кости.
- **Задний тяж 2** лежит позади переднего и прикрепляется ко дну пазухи, непосредственно кпереди от пяточной кости. Его толстые волокна идут *косо кверху, кзади и кнаружи*, прикрепляясь к крыше пазухи (см. рис. 6, А, стр. 203), спереди от задней поверхности таранной кости.

Расположение этих двух тяжей межкостной связки можно было бы отчетливо увидеть, разъединив обе кости, *если бы связки обладали растяжимостью* (рис. 20, вид спереди и снаружи с преувеличенно естественно растянутыми связками).

Таранная кость связана с пяточной еще двумя менее важными связками (рис. 19 и 20):

- **Наружная таранно-пяточная связка 3** берет начало от наружного бугра таранной кости, проходит наклонно книзу и кзади параллельно промежуточному тяжу наружной коллатеральной связки голеностопного сустава и заканчивается на наружной поверхности пяточной кости.
- **Задняя таранно-пяточная связка 4** представляет собой тонкий фиброзный тяж, идущий от задненаружного бугра таранной кости к верхней поверхности пяточной.

Межкостная связка играет **существенную роль в поддержании стабильности подтаранного сустава в покое и при движении**. Она занимает центральное положение, что показано на схеме (рис. 21, вид сверху на четыре кости предплюсны), где прозрачная блоковидная структура таранной кости лежит на пяточной кости. Из этой схемы ясно, что вес тела, передаваемый через голень на блоковидную поверхность таранной кости, передается на бугор пяточной кости и на переднюю суставную поверхность пяточной кости - передневнутренняя b'1 и передненаружная Б'2. Здесь также можно видеть, что межкостная таранно-пяточная связка (показана прозрачной, две зеленые линии) лежит точно на продолжении оси голени (крестик внутри круга), что объясняет, *почему она работает как на скручивание, так и на удлинение* (см. стр. 218).



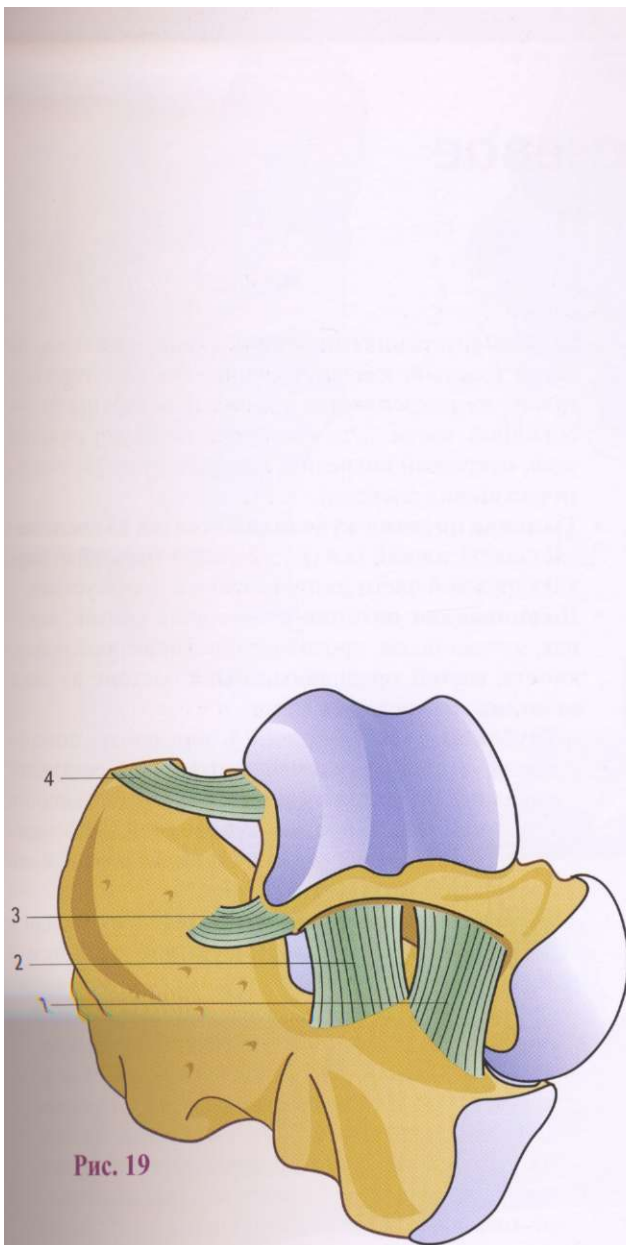


Рис. 19

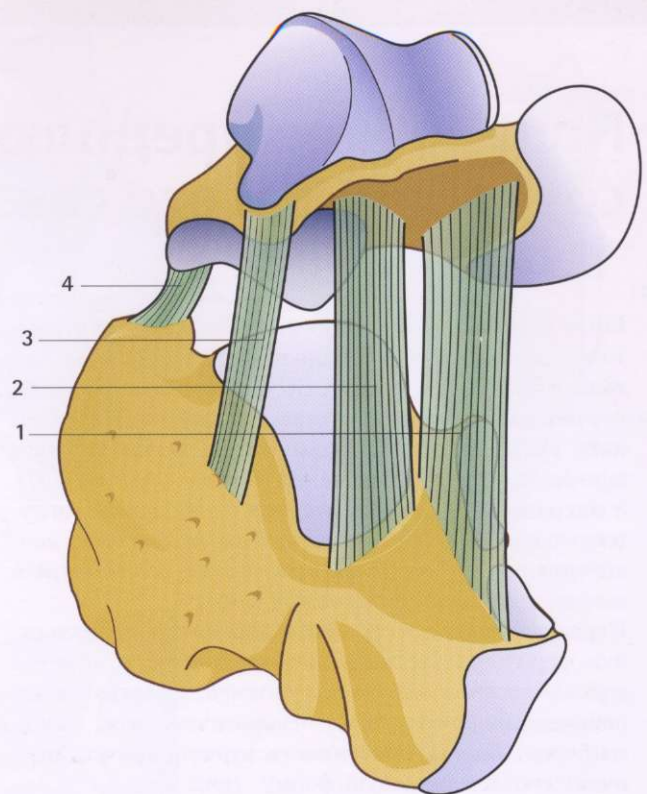


Рис. 20

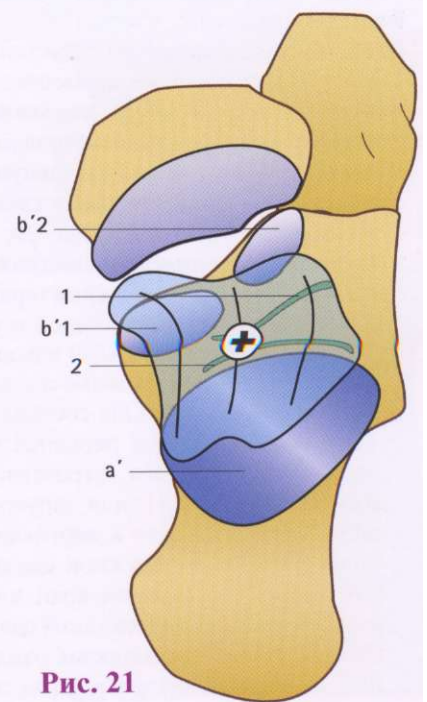


Рис. 21

Цифровые и буквенные обозначения имеют то же значение, что и в двух предшествующих разделах

# Поперечное предплюсневое сочленение и его связки

Когда поперечное предплюсневое сочленение открыто и ладьевидная и кубовидная кости наклонены дистально (рис. 22, по Рувьеру (Rouviere)), можно видеть, что оно состоит из двух суставов: **таранно-ладьевидного сустава** с вогнутостью кзади, формирующего внутреннюю часть сочленения (см. рис. 6 В, стр. 203), и **пяточно-кубовидного сустава** с небольшой вогнутостью кпереди, формирующего наружную часть сочленения, так что образуемая ими линия, если смотреть сверху, имеет форму латинской буквы S.

**Передняя поверхность** е пяточной кости имеет сложную форму: в поперечном направлении она *вогнутая в верхней части и выпуклая в нижней*, в вертикальном направлении (сверху вниз) - *сначала вогнутая, потом выпуклая*. **Задняя поверхность кубовидной кости e'** имеет соответствующую форму (рис. 27, вид ладьевидной и кубовидной костей сзади), но она удлиняется за счет фасетки **e'2** на ладьевидной кости, которая лежит кнутри от кубовидной. Эти две кости сочленяются друг с другом (кубовидно-ладьевидный сустав) **двумя плоскими поверхностями h и h'** и связаны **тремя связками**: наружной тыльной **5**, внутренней подошвенной **6** и короткой, толстой межкостной **7** (на рисунке обе кости искусственно разъединены).

Связки поперечного предплюсневого сочленения:

- **Подошвенная пяточно-ладьевидная связка c'** соединяет пяточную и ладьевидную кости (рис. 23) и образует в то же время суставную поверхность (см. стр. 203). К ее внутреннему краю 8 прикрепляется дельтовидная связка (см. рис. 16, стр.185).
- **Тыльная таранно-ладьевидная связка 9** идет от тыльной поверхности шейки таранной кости к тыльной поверхности ладьевидной кости (рис. 26).
- **Раздвоенная** (рис. 23 и 26) находится в центре и образует «замковый камень» поперечного предплюсневого сочленения. Она состоит из **двух тяжей 10**, отходящих вместе от передней части тыльной поверхности большого отростка пяточной кости. **Внутренний тяж 11**, или наружная пяточно-ладьевидная связка, лежит в вертикальной плоскости и прикрепляется к наружной оконечности ладьевидной кости. Его нижний край иногда срастается с нижней пяточно-ладьевидной связкой, и тогда поперечный сустав предплюсны оказывается разделенным на две синовиальные полости. **Наружный тяж**

12, или внутренняя пяточно-кубовидная **связка**, не такой толстый, как внутренний. Он идет **горизонтально** и прикрепляется к тыльной поверхности кубовидной кости. Эти два тяжа образуют **прямой угол**, открытый кпереди и кнаружи (рис. 25, **схематический вид** спереди).

- Тыльная пяточно-кубовидная связка 13 представляет собой тонкий тяж (рис. 23 и 26), идущий от верхненаружной части пяточно-кубовидного сустава.
- **Подошвенная пяточно-кубовидная связка, плоская**, матово-белая, проходит по подошвенной **поверхности** костей предплюсны. Она состоит из **двух** отчетливо различимых слоев:
  - Глубокий слой 14 (рис. 24, вид снизу; **поверхностный слой** пересечен и отвернут) соединяет передний бугор пяточной кости с подошвенной и с нижней поверхностью кубовидной непосредственно кзади от бороздки сухожилия длинной малоберцовой мышцы LF.
  - Поверхностный слой 15 прикрепляется сзади к подошвенной поверхности пяточной кости между ее задними и передним буграми, а спереди этот фиброзный веер крепится к подошвенной **поверхности** кубовидной кости кпереди от бороздки сухожилия длинной малоберцовой мышцы. Разъединения 16 этого слоя прикрепляются к основаниям II—V плюсневых костей. Таким образом, бороздка на кубовидной кости превращается в фиброзно-костный туннель 17, через который в латерально-медиальном направлении проходит сухожилие длинной малоберцовой мышцы (рис. 24). С внутренней стороны под малым отростком пяточной кости и пяточно-ладьевидной связки проходит сухожилие длинного сгибателя большого пальца LFH. На схемах показаны два срединных среза (рис. 28, вид изнутри, направление срезов; рис. 29, наружная часть среза), где видно сухожилие длинной малоберцовой мышцы, выходящее из бороздки на кубовидной кости, и две таранно-пяточные связки, передний 1 и задний 2 тяжи. Большая подошвенная пяточно-кубовидная связка вместе со своими двумя фиброзными слоями - глубоким 14 и поверхностным 15 - относится к числу **наиболее важных структур**, поддерживающих **своды** стопы (см. рис. 100, стр. 245).

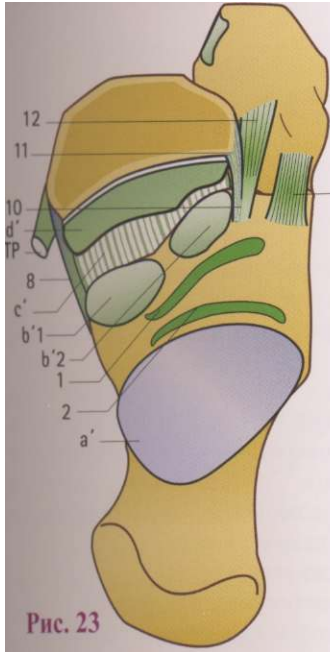


Рис. 23

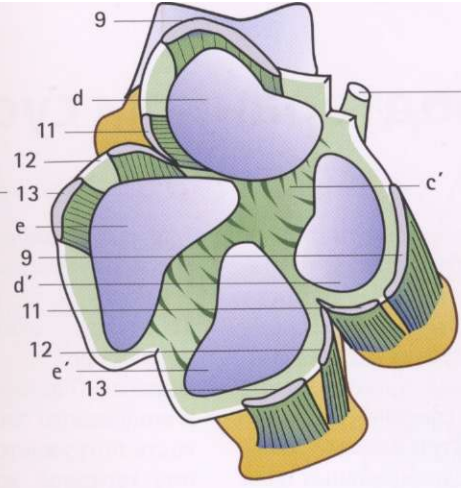


Рис. 22

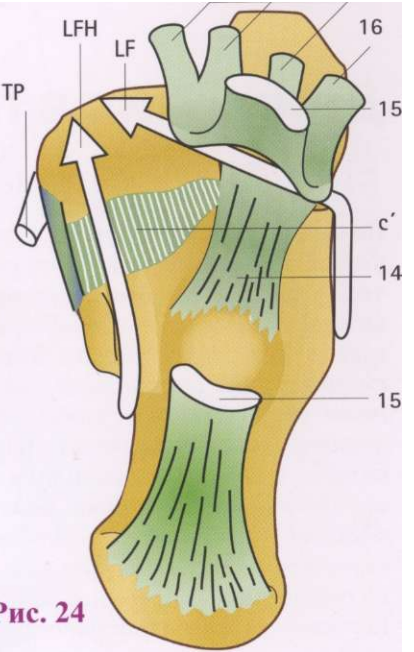


Рис. 24

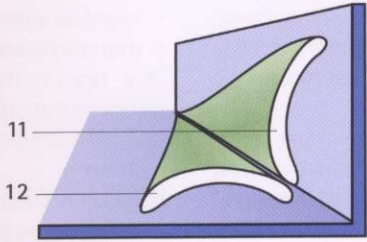


Рис. 25

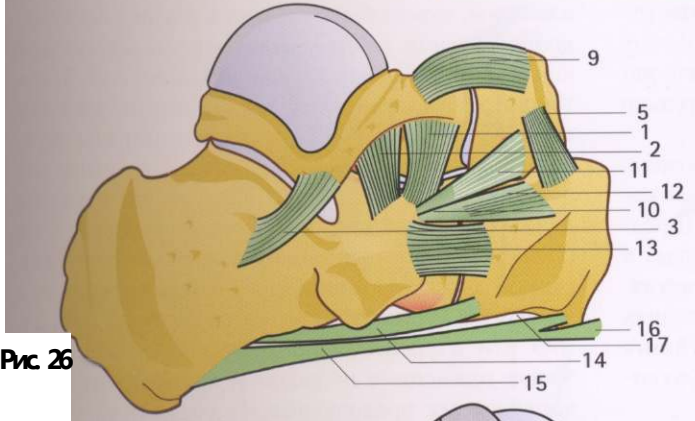


Рис. 26

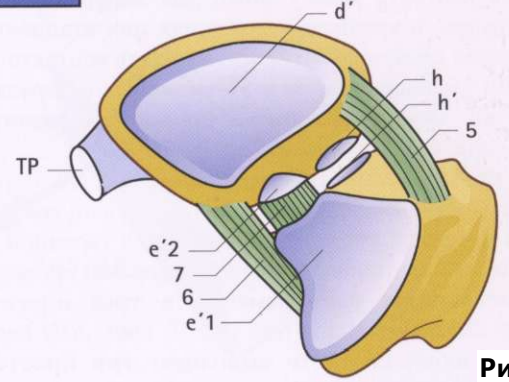


Рис. 27

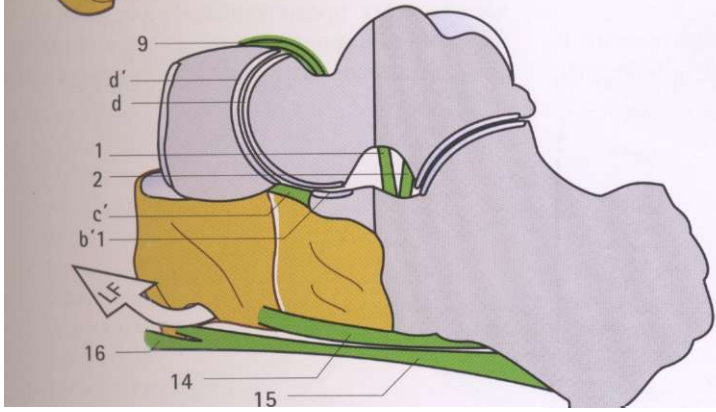


Рис. 29

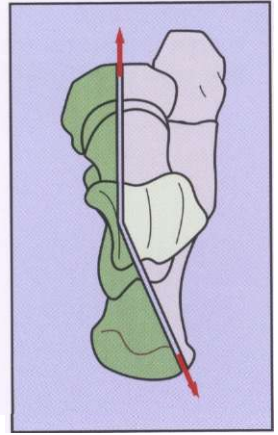


Рис. 28

# Движения в подтаранном суставе

По отдельности поверхности, образующие подтаранный сустав, можно представить себе в виде геометрической формы: передняя поверхность пяточной кости напоминает *сегмент цилиндра*, а головка таранной кости - *часть шара*. Однако этот сустав следует рассматривать как шаровидный, так как с точки зрения геометрии невозможно, чтобы две сферические и две цилиндрические поверхности (внутри единого механического комплекса) скользили одновременно одна по другой, не **утрачивая контакта**. Этот сустав обладает определенной «игрой» благодаря своей структуре и составляет тем самым резкий контраст по отношению, например, к тазобедренному суставу, где сочленяющиеся поверхности геометрически конгруэнтны и позволяют лишь самую минимальную «игру».

При том, что компоненты подтаранного сустава обладают достаточной конгруэнтностью в промежуточном положении, т.е. когда необходима максимальная степень контакта между ними для перераспределения нагрузки, в крайних положениях они становятся отчетливо дисконгруэнтными, площадь контакта между ними уменьшается, но в эти моменты и передача нагрузки между суставами становится значительно меньше, а то и нулевой.

Из **промежуточного положения** (рис. 30, «прозрачные» пяточная и таранная кости, вид изнутри) движения пяточной кости по отношению к таранной (предполагается, что последняя фиксирована) происходят **в пространстве одновременно в трех плоскостях**. При инверсии стопы (см. рис. 2, стр. 201) передняя часть пяточной кости выполняет **три простейших движения** (рис. 31, исходное положение показано синим пунктиром):

- слегка перемещается в дистальном направлении **t**, при этом происходит небольшое разгибание стопы;

- движется кнутри **v**, т.е. имеет место приведение;
- поворачивается **г**, ложится на свою наружную поверхность, т.е. имеет место супинация.

То же самое можно продемонстрировать при эверсии, но наоборот.

Фарабеф (Farabeuf) дал превосходное описание этого комплексного движения пяточной кости: «Пяточная кость погружается, поворачивается и перекачивается под таранной костью». Это сравнение с кораблем здесь полностью оправданно (рис. 34). Из стабильного положения **a**, если находит волна:

- киль корабля **погружается** в волны **Б**,
- корабль **поворачивается** всем корпусом **с**,
- **перекачивается**, наклоняясь с боку на бок **d**.

Эти простейшие движения по отношению к осям погружения, поворота и перекачивания автоматически объединяются в процессе плавания корабля по волнам **e**.

Можно показать геометрически, что движение, компоненты которого вокруг определенных осей хорошо известны, может быть сведено к *единому движению, происходящему по отношению к одной оси, лежащей наклонно относительно трех названных осей*. Для пяточной кости, которая на рис. 32 изображена в виде параллелепипеда, такая ось **mn** проходит косо **сверху вниз, изнутри кнаружи и спереди назад**. Ротация вокруг нее (рис. 33) приводит к только что описанным движениям. Эта ось, продемонстрированная Хенке (Henke), входит у верхневнутренней части шейки таранной кости, проходит через пазуху предплюсны и выходит у задненаружного бугра пяточной кости (см. стр. 218, а также модель стопы в конце книги). **Ось Хенке** применима не только к подтаранному, но и к поперечному предплюсневому сочленению, тем самым **она контролирует все движения заднего отдела предплюсны под голеностопным суставом**.

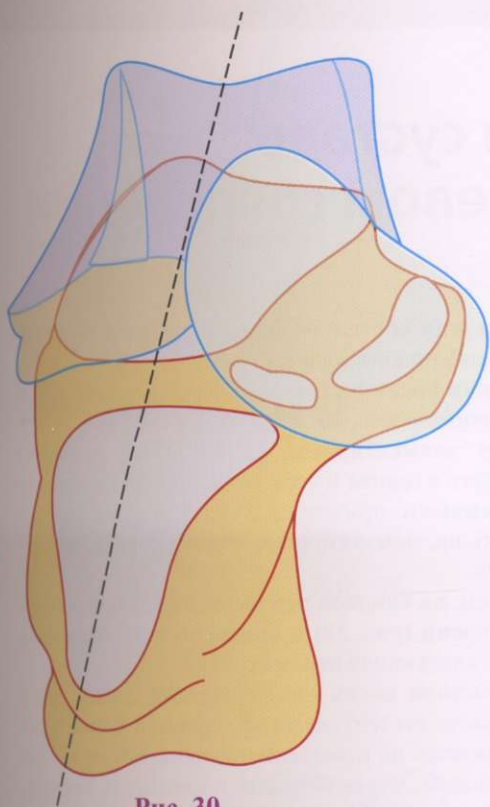


Рис. 30

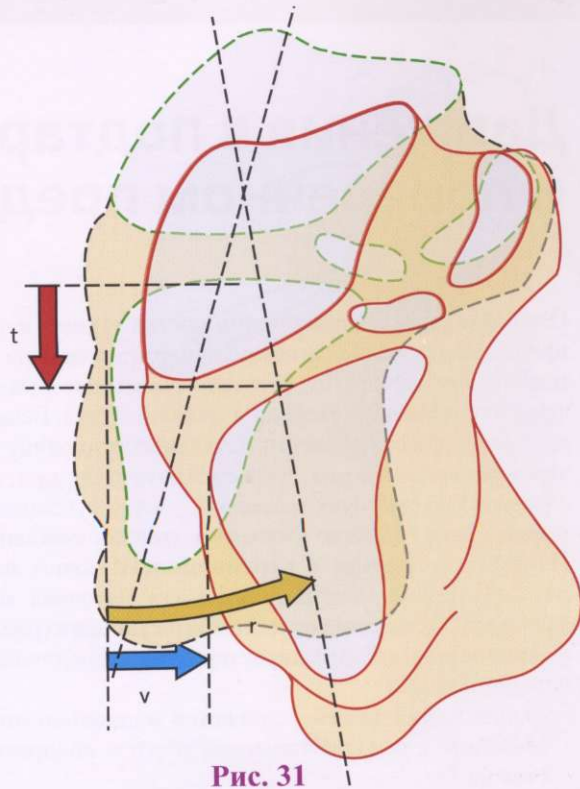


Рис. 31

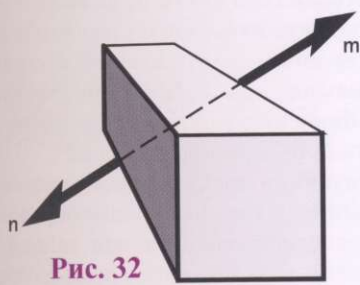


Рис. 32

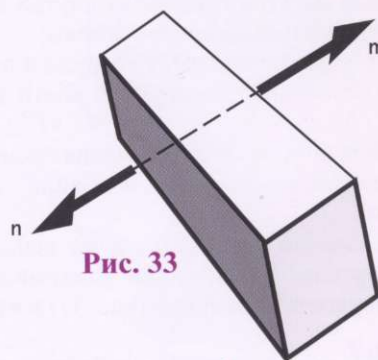


Рис. 33

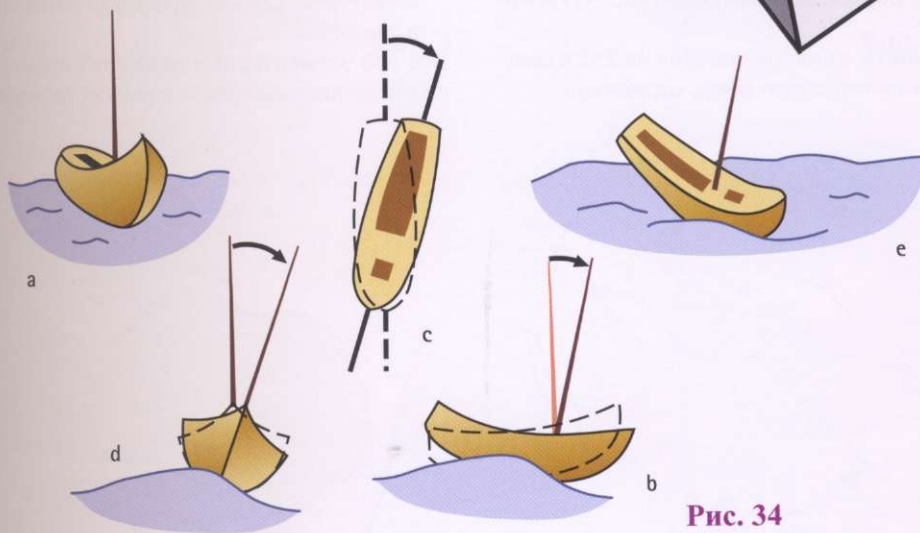


Рис. 34

# Движения в подтаранном суставе и поперечном предплюсневом сочленении

Относительные перемещения костей заднего отдела предплюсны можно легко продемонстрировать на анатомических препаратах, рентгенограммы которых сделаны в положении инверсии и эверсии стопы. Если через каждую кость провести металлическую спицу (**a** - через таранную, **синяя, b** - через пяточную, **красная, c** - через ладьевидную, **зеленая, d** - через кубовидную, **оранжевая**), то можно рассчитать угловые смещения. На рентгенограммах с вертикальным ходом центрального луча (вид сверху), когда пяточная кость фиксирована, переход от положения эверсии (рис. 35) к инверсии (рис. 36) характеризуется следующими перемещениями:

- ладьевидная кость **c** движется медиально по отношению к головке таранной кости и поворачивается на  $5^\circ$ ;
- кубовидная кость **d** следует за ладьевидной, поворачивается на такой же угол и скользит кнутри по отношению к пяточной и ладьевидной костям;
- пяточная кость **b** слегка сдвигается кпереди и поворачивается по отношению к таранной кости на угол, равный  $5^\circ$ .

Эти три элементарных ротационных движения происходят в одном и том же направлении, а именно - в рамках приведения.

На переднезаднем снимке (в данном случае неподвижной является таранная кость) видны следующие перемещения при переходе от эверсии (рис. 37) к инверсии (рис. 38):

- ладьевидная кость **c** поворачивается на  $25^\circ$  и слегка «наплывает» на таранную кость медиально;

- кубовидная кость **d** не видна за тенью от пяточной кости, она поворачивается на  $18^\circ$ ;
- пяточная кость **b** скользит кнутри под таранной и поворачивается на  $20^\circ$ .

Эти три элементарных ротационных движения происходят в одном и том же направлении - в рамках супинации, причем ладьевидная кость ротируется больше, чем пяточная, и еще больше, чем кубовидная.

И, наконец, на боковой рентгенограмме при переходе от эверсии (рис. 39) к инверсии (рис. 40) можно заметить следующие перемещения:

- ладьевидная кость **c** в буквальном смысле этого слова скользит под головкой таранной кости и поворачивается по отношению к своей оси на  $45^\circ$  таким образом, что ее передняя поверхность оказывается обращенной книзу;
- кубовидная кость **d** также скользит книзу по отношению к пяточной и таранной костям; это ее движение книзу по отношению к таранной кости значительнее, чем перемещение ладьевидной кости по отношению к таранной; в это же время кубовидная кость поворачивается на  $12^\circ$ ;
- пяточная кость **b** перемещается кпереди по отношению к таранной таким образом, что задний край последней нависает над задней частью пяточной кости; в то же самое время пяточная кость поворачивается на  $12^\circ$  в направлении разгибания, как и ладьевидная.

Все три элементарных движения происходят в одном и том же направлении - в рамках разгибания.

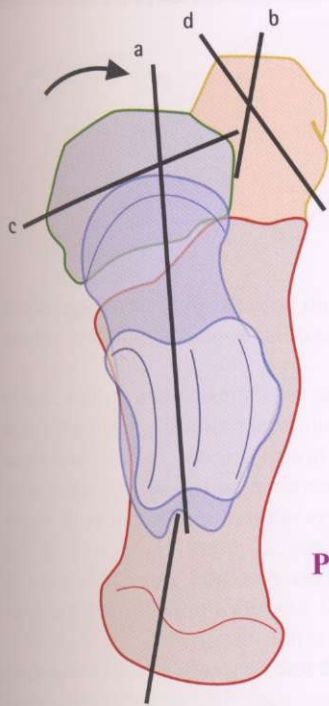


Рис. 35

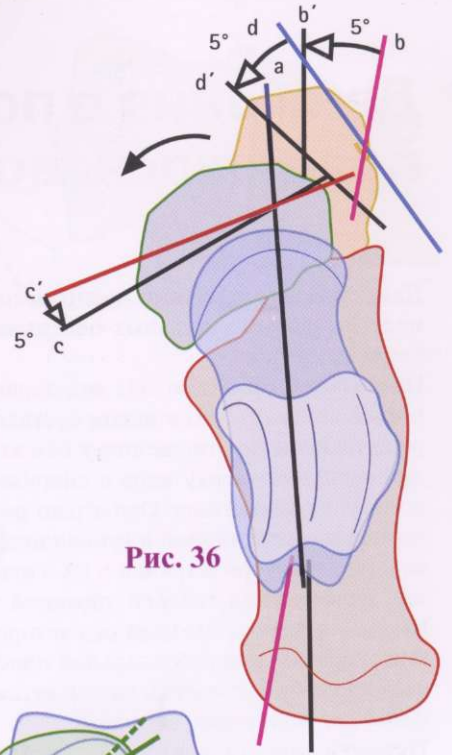


Рис. 36

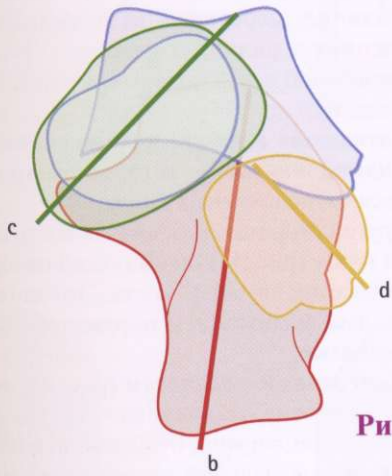


Рис. 37

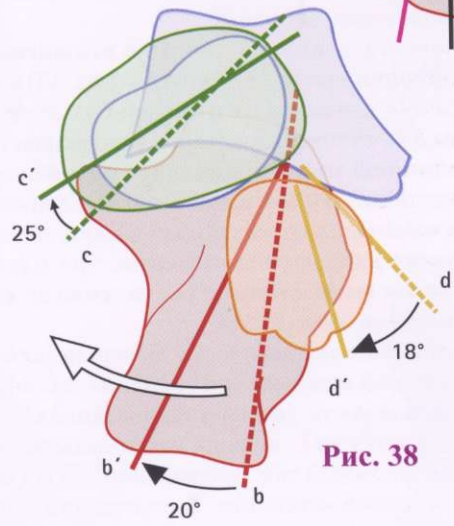


Рис. 38

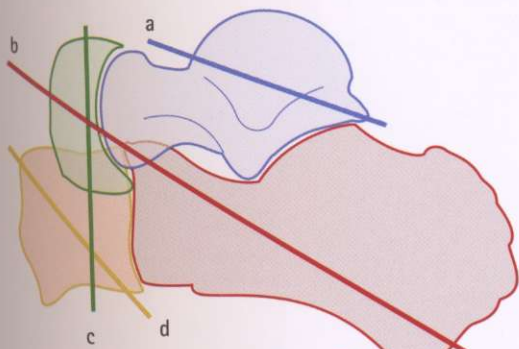


Рис. 39

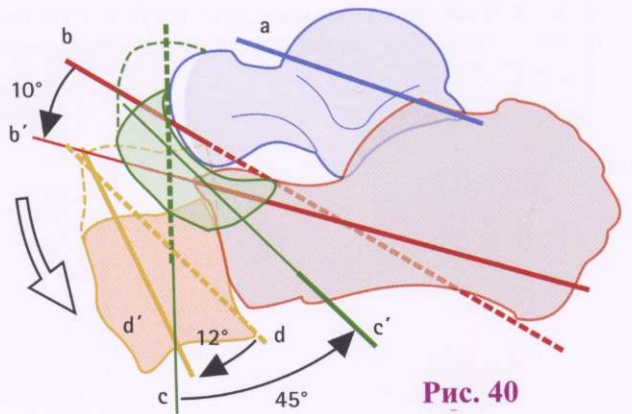


Рис. 40

# Движения в поперечном предплюсневом сочленении

Движения в **поперечном предплюсневом суставе** зависят от формы суставных поверхностей и от расположения связок.

Представим себе (рис. 41, вид таранной и пяточной костей спереди), что в целом суставные поверхности расположены по отношению к оси  $xx'$ , которая проходит наклонно сверху вниз и снаружи кнутри под углом  $45^\circ$  к горизонтали. Она играет роль **шарнира**, что позволяет ладьевидной и кубовидной костям двигаться книзу и кнутри (стрелки S и C) или кверху и кнаружи. Поверхность головки таранной кости, имеющая овальную форму, длинная ось которой  $yy'$  наклонена под углом  $45^\circ$  к горизонтальной плоскости (угол «ротации» таранной кости), оказывается расположенной в направлении этого движения.

**Перемещение ладьевидной кости по отношению к головке таранной** происходит кнутри (рис. 42) и книзу (рис. 43) под влиянием тяги задней большеберцовой мышцы TP, сухожилие которой прикрепляется к бугру ладьевидной кости. Натяжение тыльной таранно-ладьевидной связки **a** ограничивает эти движения. Описанное изменение ориентации ладьевидной кости вызывает через клиновидные и первые три плюсневые кости **приведение стопы и увеличение ее внутреннего свода** (см. стр. 256).

Одновременно ладьевидная кость движется по отношению к пяточной в **положении эверсии** (рис. 44, вид сверху, таранная кость удалена) подошвенная пяточно-ладьевидная связка **b**, нижний конец дельтовидной связки **c** и медиальный тяж раздвоенной связки **d** находятся в состоянии натяжения. В **положении инверсии** (рис. 45) сокращение задней большеберцовой мышцы приближает ладьевидную кость к пяточной (**синяя стрелка**) и заставляет таранную кость пере-

местить кверху верхнюю поверхность пяточной кости (**красная стрелка**), чтобы вышеназванные связки могли расслабиться.

Это объясняет, почему пяточная кость имеет менее протяженную переднюю поверхность, чем ладьевидная: иначе суставная поверхность, поддерживаемая костной консолью и соответственно неподвижная, не позволила бы такие перемещения ладьевидной кости по отношению к пяточной. С другой стороны, гибкая поверхность пяточно-ладьевидной связки **b** весьма существенна (стр. 258) для обеспечения эластичности внутреннего свода стопы.

**Движения кубовидной кости кверху по отношению к пяточной** (рис. 46, вид изнутри) резко ограничены двумя факторами:

- **наличие переднего отростка пяточной кости (черная стрелка)**, создающего препятствие в проксимальной части поперечного предплюсневого сочленения;
- **натяжение мощной подошвенной пяточно-кубовидной связки f**, которая быстро останавливает раскрытие сустава **a** книзу.

С другой стороны, кубовидная кость легко перемещается книзу (рис. 47) по выпуклой поверхности суставной фасетки пяточной кости. Это движение ограничено только **натяжением наружного тяжа e раздвоенной связки**.

В **поперечной плоскости** (рис. 48, горизонтальный срез на уровне АВ рисунка 41) кубовидная кость **легче скользит кнутри**, будучи контролируемой только натяжением тыльной пяточно-кубовидной связки **g**. Если представить себе картину в целом, то кубовидная кость *предпочтительно смещается книзу и кнутри*.



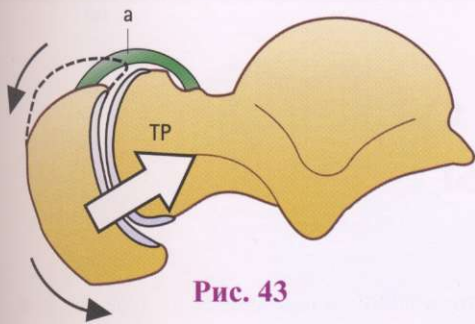


Рис. 43

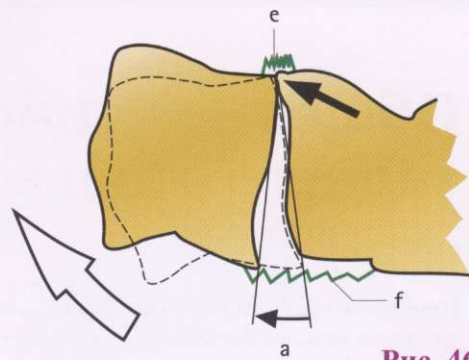


Рис. 46

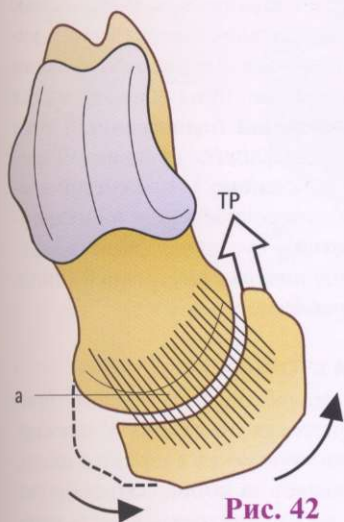


Рис. 42

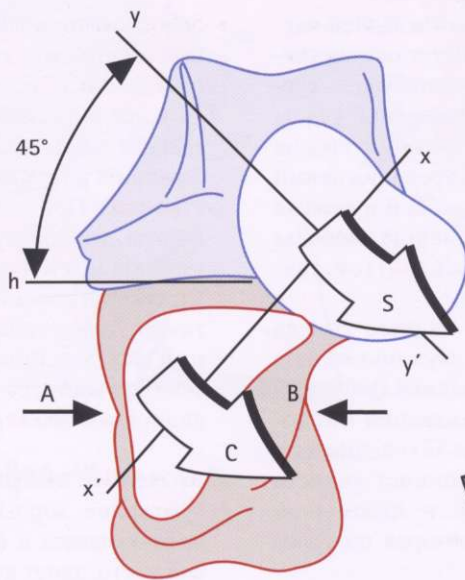


Рис. 41

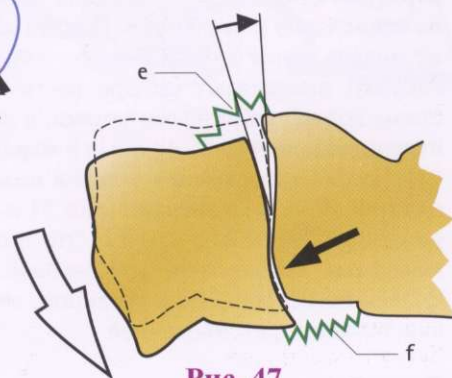


Рис. 47

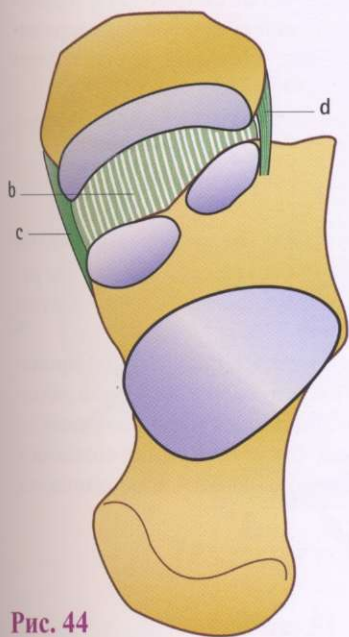


Рис. 44

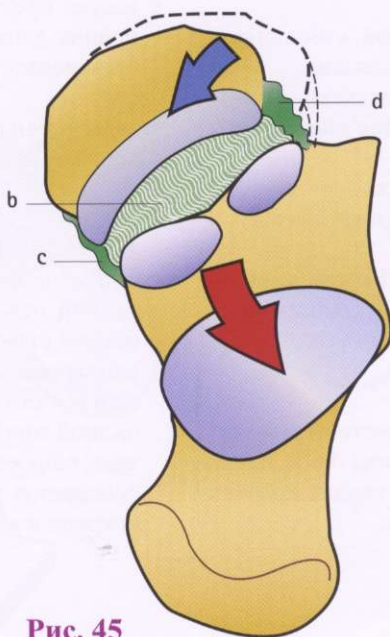


Рис. 45

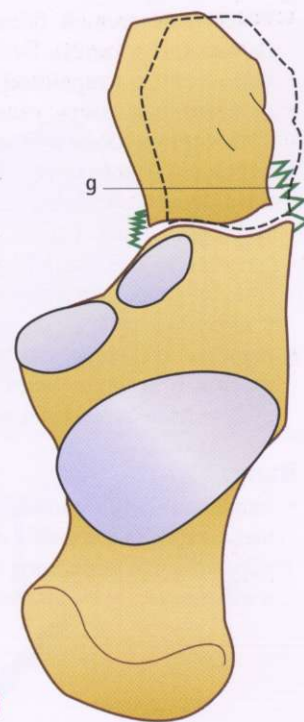


Рис. 48

# Общее функционирование суставов заднего отдела предплюсны

При изучении анатомических препаратов задней части стопы становится ясно, что все ее суставы составляют неразрывное функциональное единство — **суставной комплекс задней части предплюсны**, участвующий в изменении ориентации и глубины сводов стопы. Подтаранный и поперечный предплюсневый суставы механически связаны между собой и **вместе образуют единый сустав с одной степенью свободы** по отношению к **оси Хенке, Henke (ось mn)** (см. также модель стопы в конце книги).

Рисунки показывают четыре кости заднего отдела стопы под двумя разными углами, в двух проекциях: **переднебоковой** (рис. 49 и 51) и **передней** (рис. 50 и 52). На них изображения стопы в положении **инверсии** (рис. 49 и 50) и **эверсии** (рис. 51 и 52) специально размещены одно над другим. Это помогает увидеть *изменения направления ладьевидной и кубовидной костей* по отношению к таранной, которая по условию остается фиксированной.

## Движение инверсии стопы

(рис. 49 и 50)

- сухожилие задней большеберцовой мышцы тянет ладьевидную кость **Sea**, обнажая верхненааружную часть головки таранной кости **d**;
- ладьевидная кость увлекает за собой кубовидную **Sub** через кубовидно-ладьевидные связки;
- кубовидная кость, в свою очередь, увлекает за собой пяточную **Calc**, которая перемещается кпереди под таранную кость **Tal**;
- пазуха предплюсны раскрывается до предела (рис. 49), при этом оба тяжа межкостной связки 1 и 2 натягиваются;
- верхняя суставная фасетка пяточной кости **a'** обнажается в ее передненижней части, а подтаранный сустав раскрывается в верхнезаднем отделе.

## Вывод

- ладьевидная и кубовидная кости вместе перемещаются кнутри (рис. 50, красная стрелка **Add**) таким образом, что передний отдел стопы уходит кпереди и кнутри (**красная стрелка**, рис.49);

- одновременно пара, образованная ладьевидной и кубовидной костями, поворачивается вокруг **переднезадней** оси, проходящей через развоенную связку, которая удлиняется и скручивается. Ротация, вызванная смещением ладьевидной кости кверху и кубовидной книзу, обеспечивает супинацию (**красная стрелка**). При этом подошва стопы поворачивается кнутри, поскольку **наружный подошвенный свод уменьшается** - суставная фасетка кубовидной кости, соответствующая основанию V плюсневой кости **Vm**, ориентирована кпереди и книзу, а **внутренний свод увеличивается** - суставная фасетка ладьевидной кости, сочленяющаяся с внутренней клиновидной костью **1c**, перемещается кпереди.

## Движение эверсии стопы (рис. 51 и 52)

- сухожилие короткой малоберцовой мышцы, прикрепляющееся к бугристости основания V плюсневой кости, тянет кубовидную кость кнаружи и кзади;
- кубовидная кость увлекает за собой ладьевидную, при этом обнажается верхне-внутренняя часть головки таранной кости **d**;
- пяточная кость также включается в движение и перемещается кзади под таранную кость;
- пазуха предплюсны закрывается (рис. 51), и дальнейшее движение в направлении эверсии прекращается вследствие контакта таранной кости с дном пазухи;
- задневерхняя часть верхней поверхности пяточной кости обнажается.

## Вывод

- ладьевидная и кубовидная кости (рис. 52) вместе смещаются кнаружи **синяя стрелка Abd**, так что передний отдел стопы движется кпереди и кнаружи (**синяя стрелка**, рис. 51).
- одновременно он ротируется в направлении **пронации (синяя стрелка)** в результате смещения ладьевидной кости книзу и абдукции кубовидной, вследствие чего ее суставная фасетка **Vm**, обращенная к основанию V плюсневой кости, поворачивается кпереди и кнаружи.

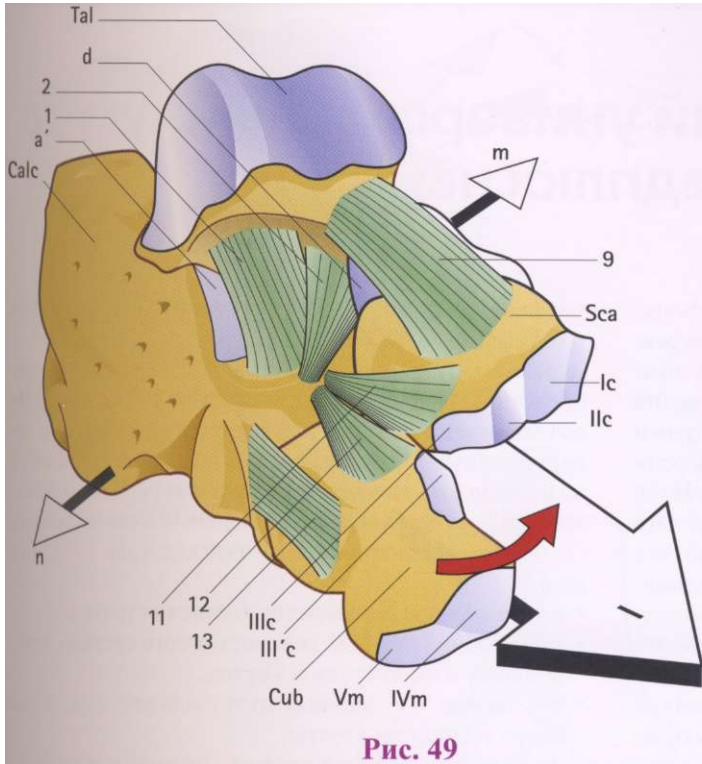


Рис. 49

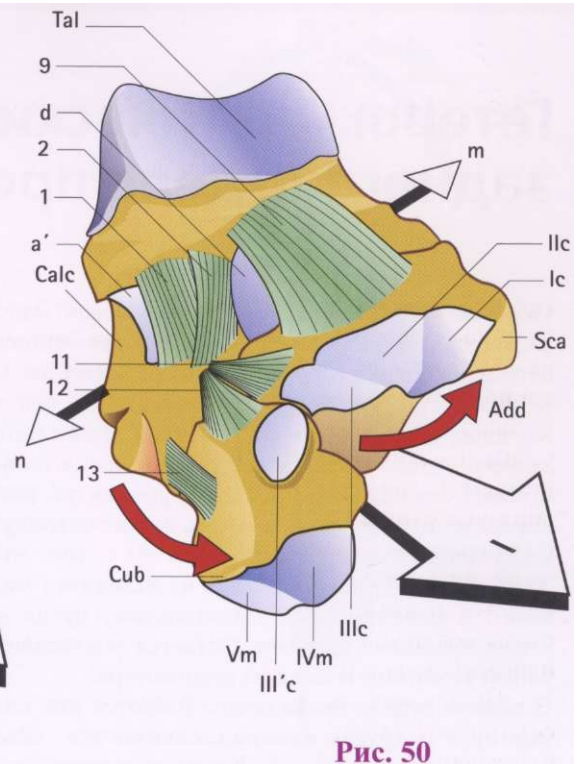


Рис. 50

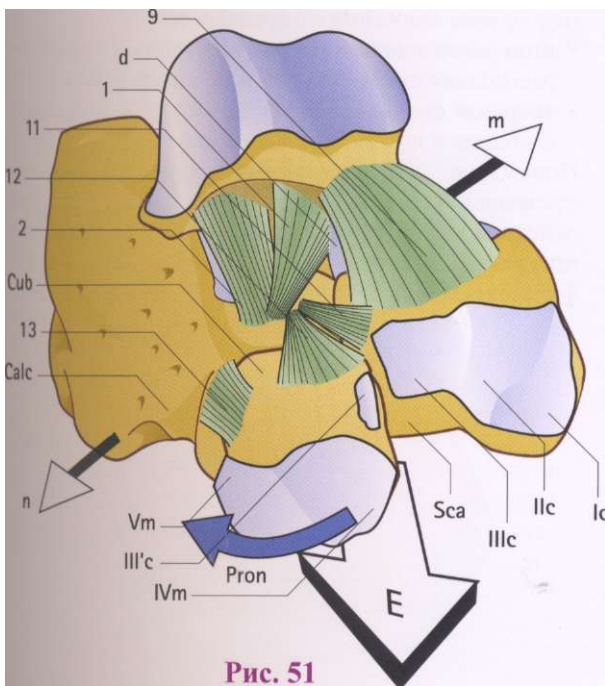


Рис. 51

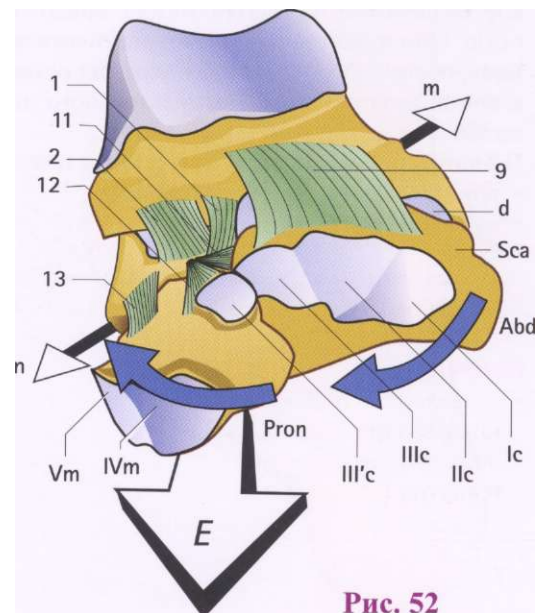


Рис. 52

# Гетерокинетический универсальный сустав заднего отдела предплюсны

**Ось Хенке (Henke)** не является, как можно подумать, фиксированной и неизменной. Это **меняющаяся ось**, перемещающаяся в пространстве во время движения. К такому заключению мы приходим на основании изучения последовательно снятых рентгенограмм заднего отдела предплюсны при инверсии и эверсии стопы. Если наложить друг на друга центры ротации, определенные по этим снимкам, они не совпадут. Это наблюдение подтверждает гипотезу о том, что ось Хенке (рис. 53) перемещается из **исходного положения 1** в **конечное 2** по «извилистому пути» между этими крайними точками. Остается подтвердить эту гипотезу математически на компьютере.

В заднем отделе предплюсны имеются **две следующие друг за другом непараллельные оси** - **ось голеностопного сустава** и **ось Хенке**, которые можно рассматривать как общую ось подтаранного и поперечно-го предплюсневого суставов. Поэтому позволительно использовать кардан как механическую модель суставного комплекса заднего отдела предплюсны.

**В механике** кардан (рис. 54) определяется как сочленение с двумя перпендикулярными друг другу осями и представляющий собой две вилки, которые могут поворачиваться по отношению друг к другу под любым углом. В автомашинах с передним приводом такое сочленение находится между приводом руля и осью. Оно известно как «гомокинетическое сочленение», поскольку ротационная пара сил остается неизменной независимо от относительного положения вилок.

**В биомеханике** выделяют три сустава такого типа:

- грудино-ключичный (седловидный),
- лучезапястный (мышцелковый),

- трапециевидно-пястный (седловидный), подробно описанный в первом томе.

В заднем отделе предплюсны суставной комплекс представлен «гетерокинетическим» универсальным сочленением. Его оси не ортогональны, т.е. они не перпендикулярны друг другу в пространстве, а **идут наклонно по отношению к друг другу**. Чтобы показать это, на механическую модель стопы наложена схема гетероцентрического кардана (рис. 55), где видно:

- **кости голени А** и **переднего отдела стопы В**,
- **поперечная ось ХХ'** голеностопного сустава, проходящая косо кпереди и кнутри,
- **ось Хенке УУ'**, идущая косо сзади кпереди, снизу вверх и снаружи кнутри,
- **промежуточная структура С**, не имеющая костного эквивалента, представляет собой неправильный четырехгранник с двумя осями кардана, проходящими через два его угла.

**Неортогональность этих осей создает направление движений** в заднем отделе предплюсны. Мышцы, организованные по отношению к этим двум осям (см. стр. 246), могут вызывать лишь два типа движения (все другие движения «запрещаются»):

- **инверсию стопы** (рис. 56), при которой происходят разгибание стопы и поворот подошвы внутрь,
- **эверсию стопы** (рис. 57), при которой происходят сгибание и поворот подошвы кнаружи.

Понимание этого «гетерокинетического кардана» чрезвычайно важно для дальнейшего рассмотрения действия мышц стопы, ориентации ее подошвенной поверхности, а также статической и динамической функции стопы.

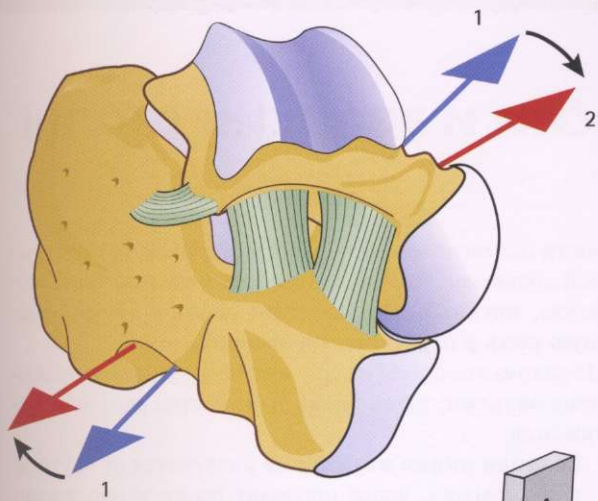


Рис. 53

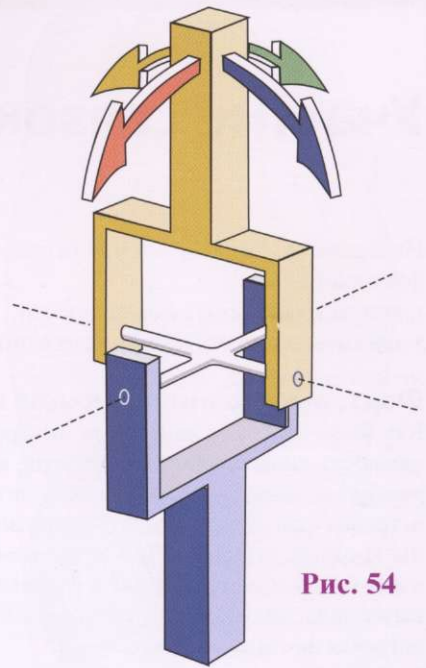


Рис. 54

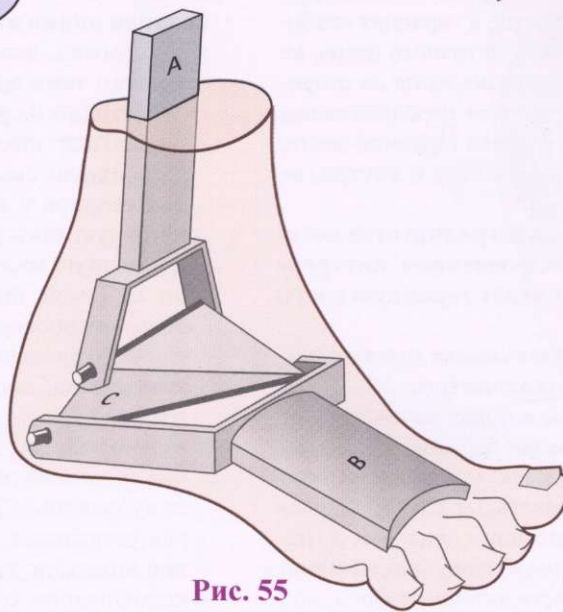


Рис. 55

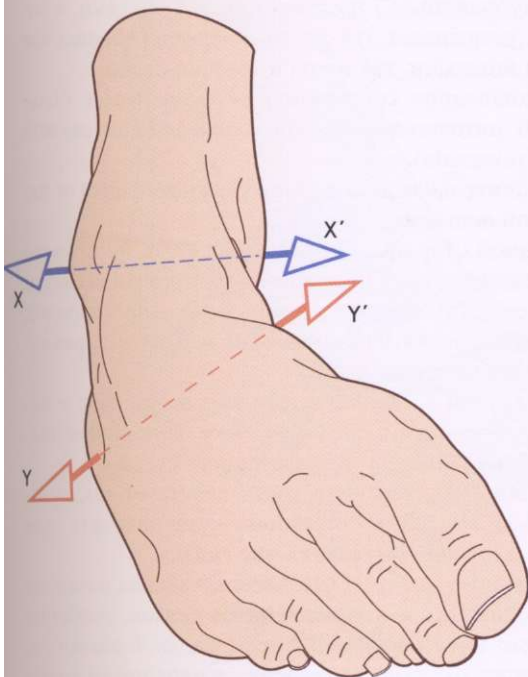


Рис. 56

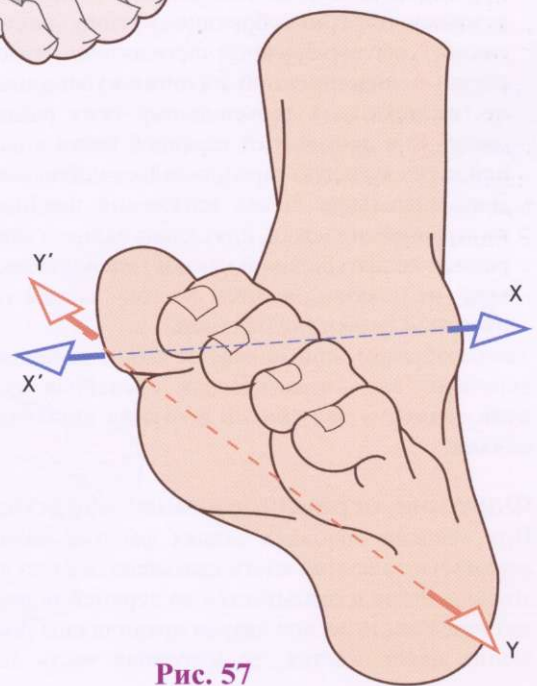


Рис. 57

# Участие связок в инверсии и эверсии стопы

Инверсия и эверсия стопы ограничиваются двумя факторами:

- контактом костных поверхностей,
- лигаментозной системой заднего отдела предплюсны.

## Факторы, ограничивающие инверсию

Как было показано ранее, при инверсии стопы пяточная кость «ныряет» книзу и кнутри, а таранная «взбивается» на верхнюю поверхность пяточного бугра, не встречая при этом никакого сопротивления со стороны костных структур. Тем временем передняя часть бугра обнажается, как и головка таранной кости, когда ладьевидная кость скользит книзу и кнутри, не встречая костных препятствий.

**Таким образом, инверсия не контролируется костными препятствиями, за исключением внутренней лодыжки, которая удерживает таранную кость на месте.**

Она ограничивается лишь **связочными цепями**, которые образуют две линии натяжения (рис. 58).

- **Главная линия натяжения**, которая начинается от наружной лодыжки, идет вдоль переднего тяжа наружной коллатеральной связки 1 голеностопного сустава, разветвляется, направляясь к пяточной и ладьевидной костям по межкостной связке 2 и 3, наружному пяточно-кубовидному **тяжу** раздвоенной связки 7, верхненаружной части пяточно-кубовидной связки 6, **подошвенной пяточно-кубовидной связке** (не показана), ладьевидному тяжу раздвоенной связки 8, и проходит от таранной кости к ладьевидной через тыльную таранно-ладьевидную связку 5.
- Дополнительная линия натяжения начинается от внутренней лодыжки, идет вдоль заднего тяжа внутренней коллатеральной связки голеностопного сустава (не показан), а затем по ходу задней таранно-пяточной связки (не показана).

Таким образом, при инверсии стопы таранная кость действует как лигаментозная «релейная станция», **куда «входят» две связки и откуда «выходят» три связки.**

## Факторы, ограничивающие эверсию

При эверсии основная задняя фасетка нижней поверхности таранной кости скатывается по склону пяточного бугра и оказывается на верхней поверхности пяточной кости на дне пазухи предплюсны. Если движение продолжается, то наружная часть таранной

кости подтягивается кнаружи и сталкивается с наружной лодыжкой, что может вызвать перелом. Таким образом, **костные препятствия играют доминирующую роль в ограничении эверсии.**

Немаловажное значение имеет и **лигаментозная цепь эверсии**; здесь также выделяются две линии натяжения:

- **Главная линия натяжения** начинается от внутренней лодыжки, далее проходит по двум плоскостям переднего тяжа внутренней коллатеральной связки голеностопного сустава (рис. 59):
  - по верхней поверхности, включающей в себя дельтовидную связку 9, соединяющую лодыжку с ладьевидной и пяточной костями, и ладьевидно-пяточную связку 11, соединяющую ладьевидную и пяточную кости;
  - по глубокой поверхности 10, где расположена большеберцово-таранная связка (не показана), соединяющая лодыжку и таранную кость, и межкостная связка, соединяющая лодыжку с пяточной костью 12;
  - в свою очередь, пяточная кость связана с кубовидной и ладьевидной через раздвоенную связку - с ее кубовидным 7 и ладьевидным 8 пучками, которая удерживает эти кости одинаково хорошо как при инверсии, так и при эверсии стопы,
  - подошвенное соединение осуществляется большой пяточно-кубовидной подошвенной связкой (не показана).
- Дополнительная линия натяжения начинается от наружной лодыжки:
  - с одной стороны, направляется к таранной кости по заднему тяжу наружной коллатеральной связки голеностопного сустава (на рисунке не показана), а оттуда - к пяточной кости по наружной таранно-пяточной связке 13,
  - а с другой - направляется непосредственно к пяточной кости по среднему тяжу наружной коллатеральной связки голеностопного сустава 4.

Таким образом, таранная кость действует как лигаментозная «релейная станция», **куда «входят» две связки и откуда «выходят» две связки.**

Из сказанного следует, что насильственная инверсия стопы приводит к **повреждениям связок**, особенно переднего тяжа наружной коллатеральной связки голеностопного сустава, а эверсия - к **переломам лодыжек**, особенно наружной.

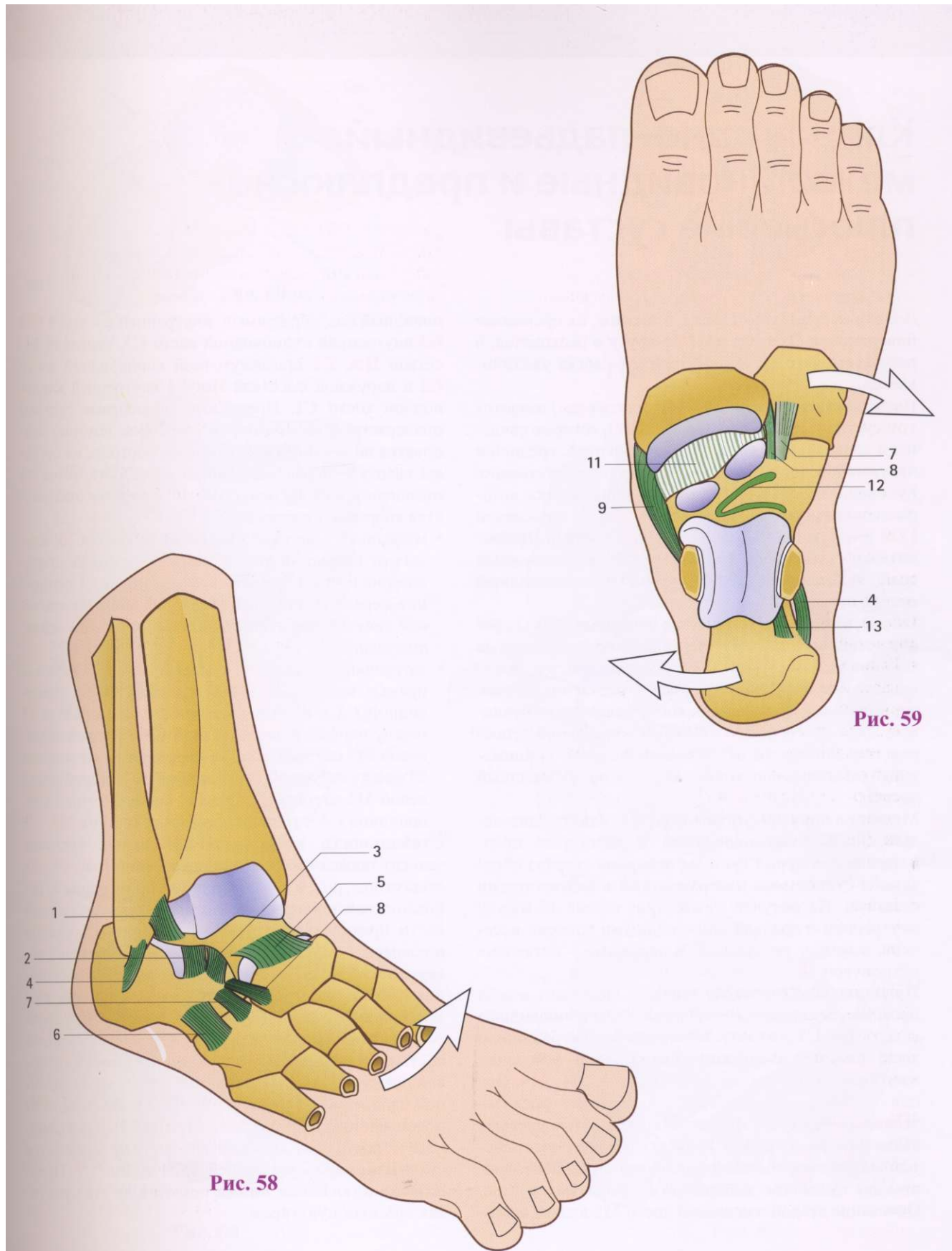


Рис. 58

Рис. 59

# Клиновидно-ладьевидный, межклиновидные и предплюсно-плюсневые суставы

Все эти суставы относятся к **плоским**, их суставные поверхности скользят друг по другу и расходятся, в результате чего суставной просвет слегка увеличивается.

На ладьевидной кости (рис. 60, вид спереди) имеются **три суставные фасетки (Ic, He, Шс)**, которые сочленяют ладьевидную кость Sea с внутренней, средней и наружной клиновидными костями соответственно. Кубовидная кость Sub также имеет три фасетки, которые сочленяются с V плюсневой Vm, IV плюсневой IVm и наружной клиновидной IIIc костями. Дополнительно кубовидная кость поддерживает наружный край ладьевидной кости (кубовидно-ладьевидный сустав, стрелки).

На рис. 61 (вид в пространстве спереди и сбоку) проиллюстрировано, как три специально приподнятые клиновидные кости C1, C2, C3 сочленяются с ладьевидной и кубовидной. Двойная стрелка показывает, как наружная клиновидная кость лежит на кубовидной, а именно на фасетке IIIc, расположенной непосредственно кпереди от суставной фасетки, принимающей ладьевидную кость (клиновидно-кубовидный сустав).

Межклиновидные суставы (рис. 62, клиновидно-ладьевидный, межклиновидные и некоторые предплюсно-плюсневые суставы показаны сверху) образованы суставными поверхностями и межкостными связками. На рисунке межкостная связка 19 между внутренней и средней клиновидными костями иссечена, а между внутренней и наружной - оставлена нетронутой 20.

**Предплюсно-плюсневые суставы** включают в себя проксимально (рис. 64, вид сверху) три клиновидные кости C1, C2, C3 с внутренней стороны и кубовидную кость Sub - с наружной, а дистально - основания пяти плюсневых костей M1, M2, M3, M4, M5. Все они являются *плоскостными суставами, расположенными очень тесно*. Взгляд на открытые суставы сзади (рис. 63, по работе Рувьера) демонстрирует суставные фасетки костей предплюсны и соответствующие им суставные поверхности плюсневых костей. Основание второй плюсневой кости M2 входит в кли-

новидный паз, образуемый: внутренней фасеткой IIm C3 внутренней клиновидной кости C3, передней фасеткой IIm, C2 промежуточной клиновидной кости C2 и наружной фасеткой IIm C1 внутренней клиновидной кости C1. Предплюсно-плюсневые суставы поддерживаются **мощными связками**, которые становятся видимыми (рис. 62), если смотреть на суставы сверху - первая плюсневая кость ротируется по отношению к своей оси (стрелка 1), а третья оттягивается кнаружи (стрелка 2):

- медиально - мощная **раздвоенная связка 18**, идущая от наружной поверхности внутренней клиновидной кости к внутренней поверхности основания первой плюсневой кости; она является *ключевой связкой при выполнении хирургической дезартикуляции*;
- латерально находится **система связок**, включая прямые волокна 21 между промежуточной клиновидной C2 и второй плюсневой M2 костями и 22 между наружной клиновидной C3 и третьей плюсневой M3 костями, а также крестообразные волокна 23 между наружной клиновидной C3 и второй плюсневой M2 костями и 24 между промежуточной клиновидной C2 и третьей плюсневой костями M3.

**Стабильность предплюсно-плюсневых суставов** зависит также от многочисленных связок (рис. 64, вид тыла стопы; рис. 65, вид подошвы), проходящих от основания каждой плюсневой кости к соответствующей кости предплюсны и между основаниями соседних плюсневых костей. В их число входят: на тыльной поверхности (рис. 64) - связки, расходящиеся от основания второй плюсневой кости ко всем соседним костям, а на подошвенной (рис. 65) - связки между внутренней клиновидной и первыми тремя плюсневыми костями. К подошвенной поверхности основания первой плюсневой кости прикрепляется сухожилие длинной малоберцовой мышцы LF там, где оно выходит из подошвенной борозды (белая стрелка 25). К шиловидному отростку пятой плюсневой кости прикрепляется сухожилие короткой малоберцовой мышцы CF. **Предплюсно-плюсневая линия** показана на этих рисунках красным пунктиром.



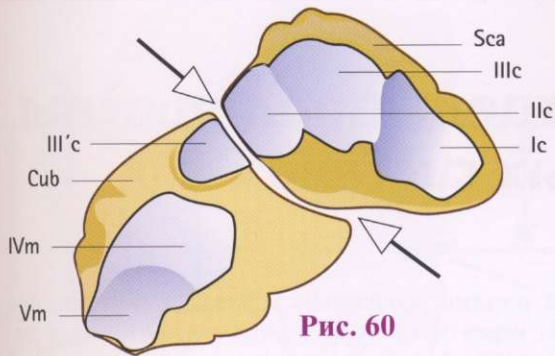


Рис. 60

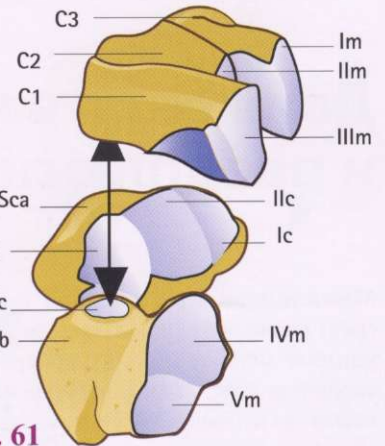


Рис. 61

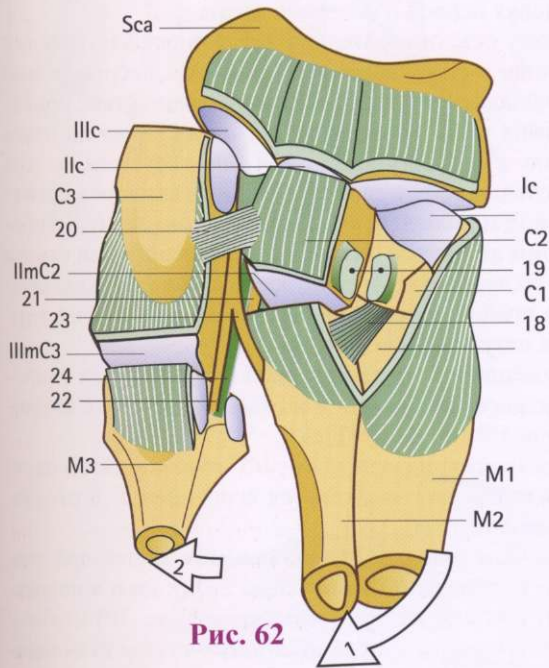


Рис. 62

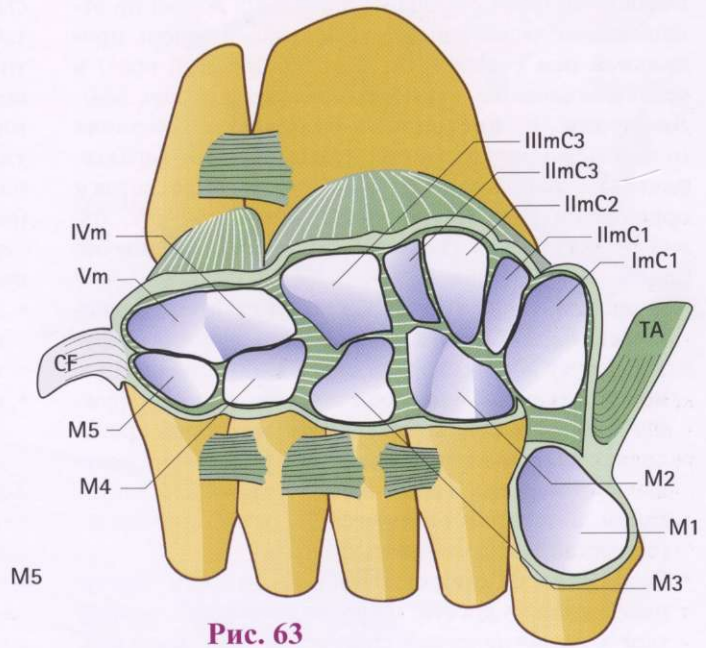


Рис. 63

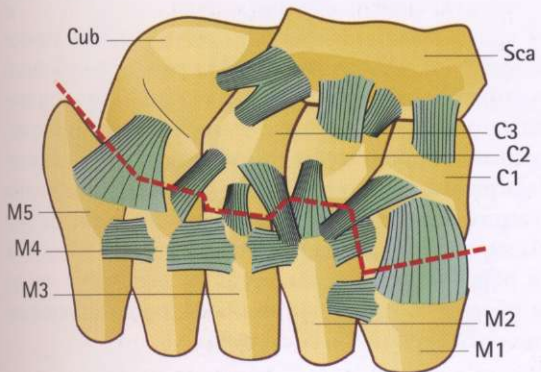


Рис. 64

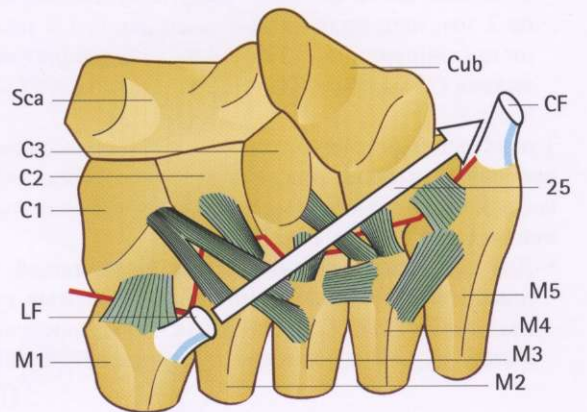


Рис. 65

# Движения в переднем отделе предплюсны и предплюсно-плюсневых суставах

**Межклиновидные суставы** (рис. 66, фронтальный срез) позволяют небольшие вертикальные движения, которые меняют глубину поперечного подошвенного свода (см. стр. 224). Наружная клиновидная кость С3 лежит на кубовидной Cub, внутренняя треть которой (**темная**) обеспечивает поддержку для дуги, образуемой клиновидными костями.

Небольшое перемещение клиновидных костей по отношению к ладьевидной Sea происходит вдоль **продольной оси стопы** (рис. 67, сагиттальный срез) и ведет к **изменениям внутреннего свода** (см. стр. 264).

**Движения в предплюсно-плюсневых суставах** (о чем можно судить по их анатомическим характеристикам, особенно по форме суставных просветов и ориентации суставных поверхностей, см. рис. 68, вид сверху) можно охарактеризовать следующим образом:

- **В целом** линия, проходящая через предплюсно-плюсневые суставы, идет наклонно изнутри кнаружи, сверху вниз и спереди назад. Ее внутренний конец лежит на 2 см кпереди по сравнению с наружным. **Наклон оси**, по отношению к которой происходят сгибание и разгибание в предплюсно-плюсневых суставах, как и наклон оси Хенке, способствует таким движениям стопы, как **эверсия и инверсия** (см. механическую модель стопы).
- Расстояние, на которое клиновидные кости «наступают» одна на другую и кубовидную кость, возрастает в геометрической прогрессии: наружная клиновидная кость С3 наступает на кубовидную Cub на 2 мм, наружная клиновидная кость С2 на среднюю клиновидную С2 - на 4 мм, внутренняя клиновидная С1 на среднюю клиновидную кость С2 - на 8 мм.

Таким путем формируется глубокий **паз**, вмещающий основание второй плюсневой кости. Поэтому эта кость наименее мобильна и образует **«конек» подошвенных сводов** (см. стр. 270).

- Два конечных сегмента линии, проходящей через плюсневые суставы, **наклонены в разные стороны**: линия М1/С1, проходящая через пространство между первой плюсневой и внутренней клиновид-

ной костями, направлена кпереди и кнаружи, она идет через *середины пятой плюсневой кости*, а линия М5/Cub, проходящая через суставное пространство между пятой плюсневой и кубовидной костями, - кпереди и кнутри, она идет почти через головку первой плюсневой кости.

Поэтому ось, относительно которой осуществляются сгибание и разгибание латеральных плюсневых костей, обладающих наибольшей подвижностью, ориентирована не перпендикулярно, а **наклонно** по отношению к их длинным осям. Соответственно, **эти плюсневые кости совершают движения не в сагиттальной плоскости**, а по сегменту конуса. При сгибании **они движутся также в направлении оси стопы** (рис. 70, вид сверху и снаружи на линию, проходящую через предплюсно-плюсневые суставы, включая первую и пятую плюсневые кости):

- движение **aa'** головки первой пястной кости сопровождается сгибанием F и отведением Abd с амплитудой 15° (по Фику (Fick)),
- и симметрично, движение **bb'** головки пятой пястной кости сопровождается сгибанием F и отведением Add.

Тем самым головки этих плюсневых костей при сгибании перемещаются не только книзу, но и в направлении оси стопы, что увеличивает (рис. 70) глубину переднего свода, и **передняя часть стопы становится более вогнутой**, следуя кривой **'а'Б'** (**красный пунктир**). В противовес этому разгибание плюсневых костей сопровождается уплощением свода стопы (см. механическую модель в конце книги).

Этому сближению крайних плюсневых костей помогает также (рис. 69, суставные поверхности кубовидной и клиновидной костей видны спереди) наклон поперечных осей **xx'** и **yy'** их суставных поверхностей. Это движение происходит по направлению, показанному жирными стрелками в две стороны. Движения увеличения вогнутости и уплощения свода стопы показаны на схематических рисунках в разрезе (рис. 71). Таким образом, изменения глубины переднего свода стопы обеспечиваются движениями, происходящими в предплюсно-плюсневых суставах.

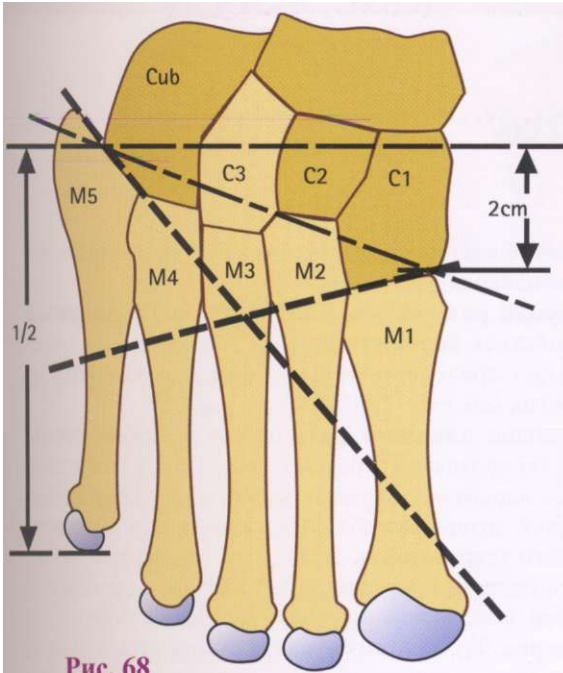


Рис. 68

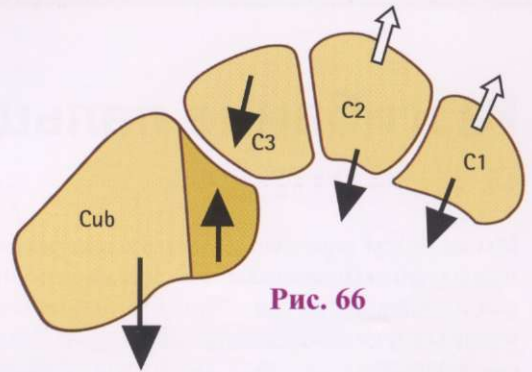


Рис. 66

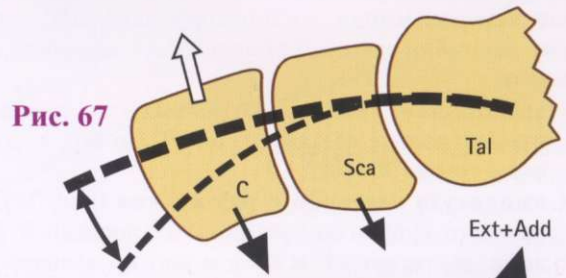


Рис. 67

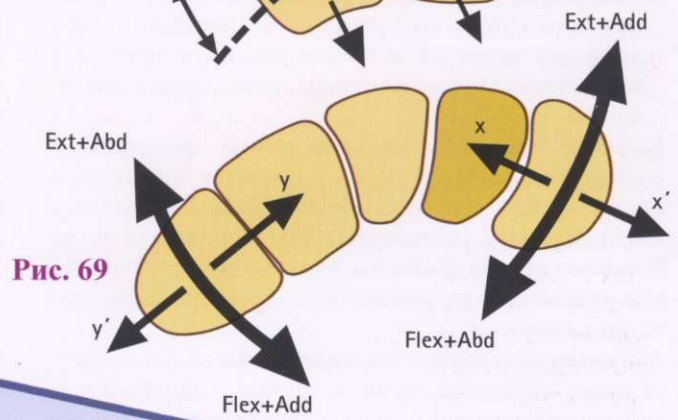


Рис. 69

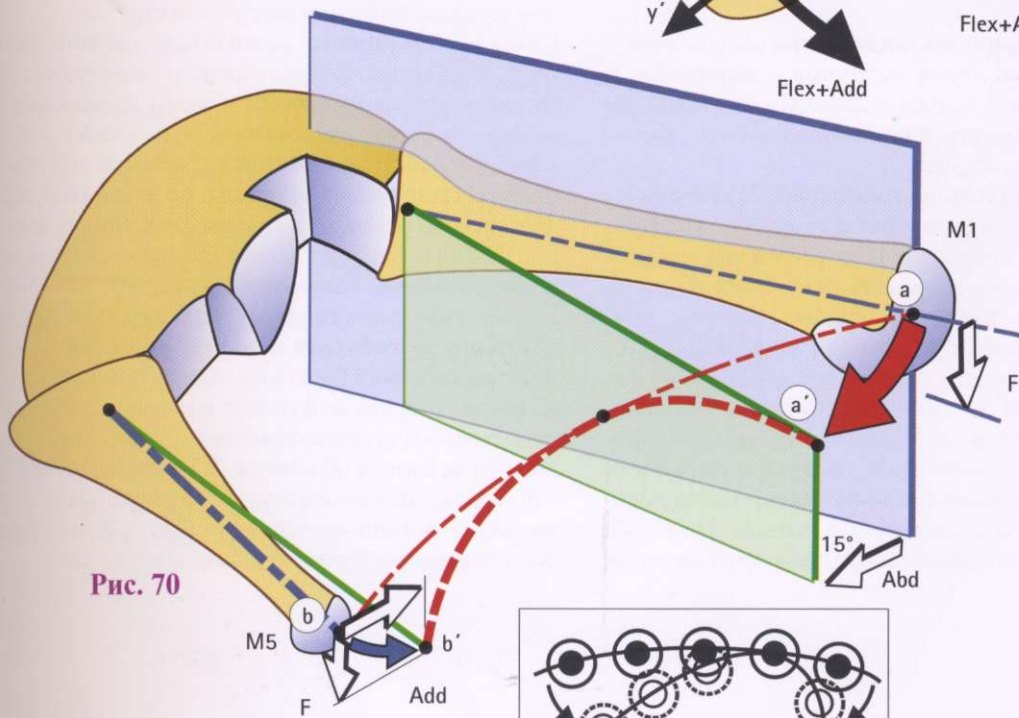


Рис. 70

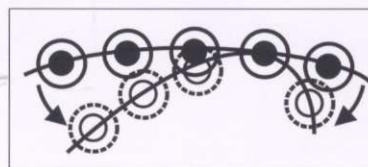


Рис. 71

# Разгибание пальцев стопы

Мы не будем описывать здесь плюснефаланговые и межфаланговые суставы, т.к. они идентичны суставам пальцев кисти (*см. 1 том*) за исключением **некоторых функциональных отличий**. Так, в пястно-фаланговых суставах амплитуда сгибания больше, чем разгибания, а в плюснефаланговых, наоборот, величина разгибания превышает величину сгибания:

- **амплитуда активного разгибания** в плюснефаланговых суставах составляет от 50° до 60°, а сгибания - только 3(МО°);
- **амплитуда пассивного разгибания** (рис. 72), играющего существенную роль на последней фазе шага, достигает 90° и даже может превышать этот показатель, а пассивное сгибание остается в пределах 45-50°.

**Боковые движения пальцев стопы** происходят в плюснефаланговых суставах в пределах значительно меньших, чем соответствующие движения пальцев кисти. Большой палец стопы человека, в отличие от большого пальца обезьяны, утратил функцию противопоставления в результате перехода к передвижению на двух ногах.

**Активное разгибание пальцев стопы** обеспечивается тремя мышцами: двумя внешними - длинным разгибателем большого пальца и длинным разгибателем пальцев - и одной внутренней мышцей стопы - коротким разгибателем пальцев.

**Короткий разгибатель пальцев** (рис. 73) находится полностью на тыле стопы. Он берет начало от пяточного дна пазухи предплюсны и от ствола нижнего удерживателя сухожилий мышц разгибателей, разделяется на четыре мясистых брюшка, которые прикрепляются с помощью сухожилий к наружным сторонам соответствующих сухожилий длинного разгибателя пальцев, за исключением сухожилия, принадлежащего первой плюсневой кости, которое прикрепляется непосредственно к тыльной поверхности первой фаланги большого пальца; пятый палец вообще не получает сухожилия от этой мышцы. Таким образом, короткий разгибатель пальцев стопы является

разгибателем плюснефаланговых суставов первых четырех пальцев (рис. 74).

**Длинный разгибатель пальцев стопы и длинный разгибатель большого пальца** расположены в переднем футляре голени, их сухожилия заканчиваются на фалангах (*см. стр. 236*).

Сухожилие **длинного разгибателя пальцев стопы** (рис. 75) проходит спереди от голеностопного сустава, глубже наружной половины верхнего удерживателя сухожилий мышц разгибателей, затем кзади от ствола нижнего удерживателя, после чего разделяется на четыре сухожилия, идущие к II—V пальцам, пройдя под нижней пластинкой передней кольцевой связки (*см. также рис. 98*). Поэтому V палец разгибается только за счет действия общего длинного разгибателя. Эта мышца, как следует из ее наименования, является разгибателем пальцев стопы, но, кроме того, она служит, **что очень важно, сгибателем голеностопного сустава** (*см. стр. 246*). Ее разгибающее воздействие на пальцы в чистом виде проявляется только тогда, когда ее функция как сгибателя голеностопного сустава **уравновешивается антагонистом** экстензором (главным образом трицепс, показан в виде **белой стрелки**).

Сухожилие **длинного разгибателя первого пальца** (рис. 76) проходит глубже верхнего удерживателя сухожилий мышц разгибателей и затем пронизывает обе ножки нижнего удерживателя (*см. также рис. 98, стр. 243*). Оно прикрепляется к тыльной поверхности обеих фаланг большого пальца: по краям тыла первой фаланги и к тыльной поверхности основания дистальной фаланги. Поэтому данная мышца является не только **разгибателем большого пальца**, но и, что не менее важно, **сгибателем голеностопного сустава**. Как и для **длинного разгибателя пальцев**, ее действие, связанное с разгибанием большого пальца, проявляется только после того, как ее функция в качестве сгибателя голеностопного сустава уравновесится антагонистом.

Дюшен де Булонь (Duchenne de Boulogne) утверждает, что короткий разгибатель пальцев является единственным истинным разгибателем. Справедливость этого замечания будет показана дальше.

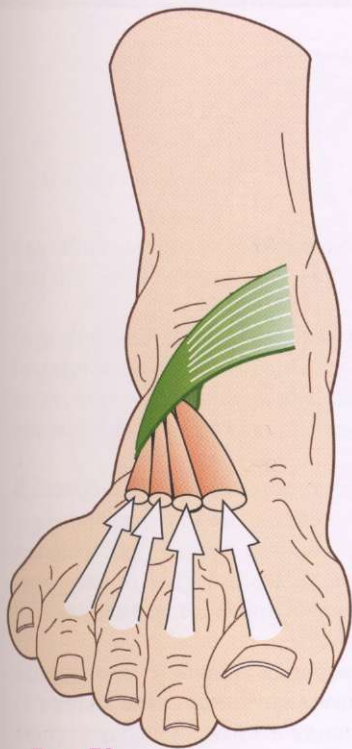


Рис. 73

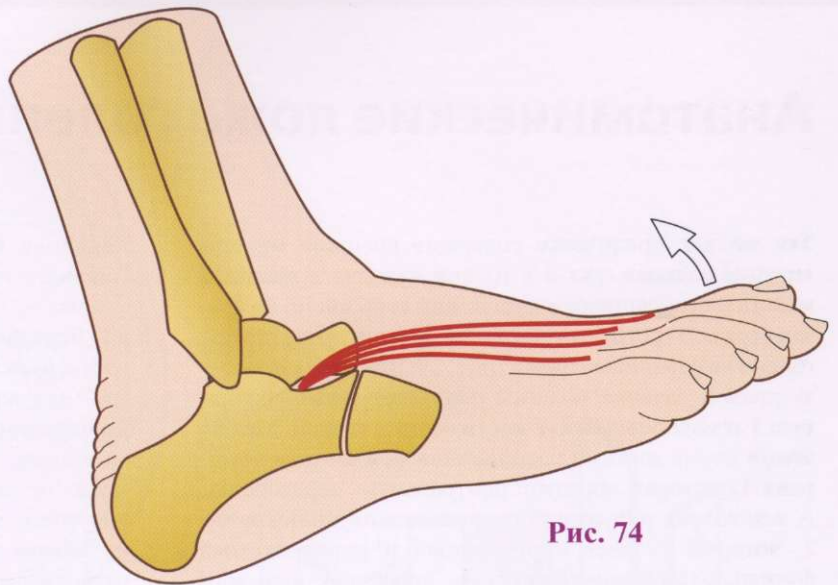


Рис. 74

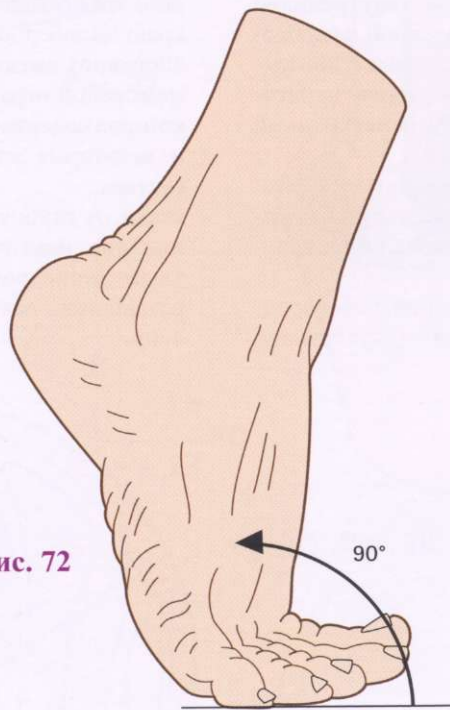


Рис. 72

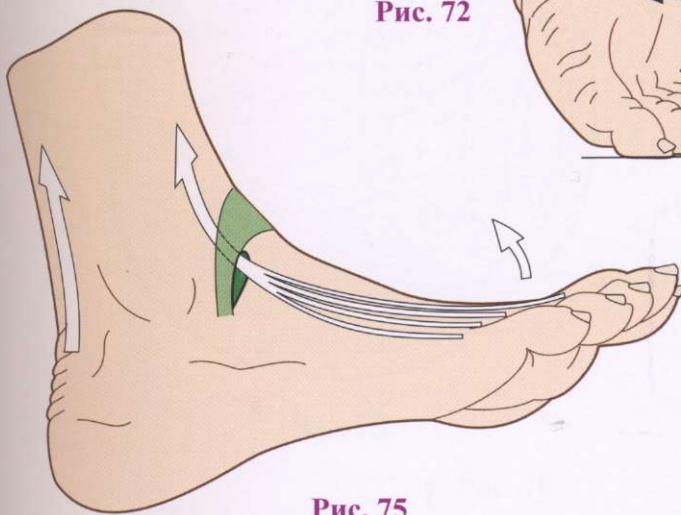


Рис. 75

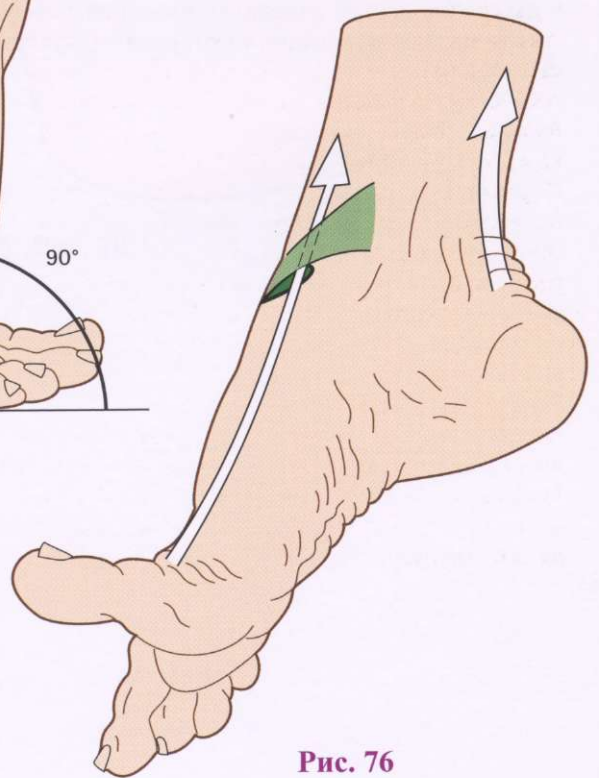


Рис. 76

## Анатомические ложа голени

Так же как предплечье содержит внешние мышцы кисти и пальцев, так и в голени находятся внешние мышцы, относящиеся к стопе. Как ясно видно на срезах верхней трети (рис. 77, нижняя часть среза правой голени) и середины голени (рис. 79, нижняя часть среза правой голени), мышцы окружают большеберцовую Т и малоберцовую F кости со всех сторон. Между этими двумя костями расположена межкостная мембрана 1, которая образует центральную перегородку. А вся голень окружена поверхностным апоневрозом 2, который создает протяженный и нерастяжимый футляр. С внутренней стороны поверхностный апоневроз покрывает непосредственно внутреннюю часть большеберцовой кости, а с наружной малоберцовая кость расположена глубоко и связана с поверхностным апоневрозом двумя **фиброзными перегородками - наружной межмышечной перегородкой 3 и передненаружной перегородкой 4.**

В голени выделяют три пространства и четыре анатомических ложа для мышц (рис. 78, вид снаружи в перспективе, большеберцовая кость отсечена выше малоберцовой):

- на уровне костей голени, межкостной перегородки и передненаружной перегородки расположено

**переднее ложе 1**, содержащее мышцы-сгибатели голеностопного сустава и разгибатели пальцев стопы;

- на передненаружной поверхности малоберцовой кости, между двумя межмышечными перегородками — наружной и передневнутренней - расположено **передненаружное ложе 2**, занятое малоберцовыми мышцами;

- кзади от костей голени, межкостной мембраны и наружной межмышечной перегородки расположено **заднее ложе**, разделенной на два пространства глубоким апоневрозом 5, растянутым от внутреннего края большеберцовой кости к задненаружному краю малоберцовой кости;

- апоневроз вместе с костями голени и межкостной мембраной ограничивает **глубокое ложе голени 3**, которое содержит мышцы-сгибатели пальцев стопы и некоторые мышцы-разгибатели голеностопного сустава;

- кзади от глубокого апоневроза находится **поверхностное ложе голени 4**, ограниченное поверхностным апоневрозом. Это ложе содержит мощный разгибатель голеностопного сустава и трицепс голени.

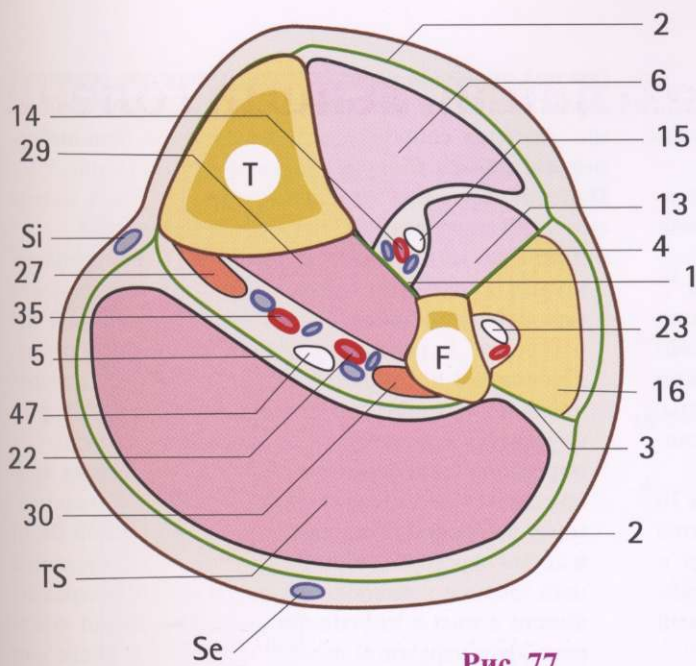


Рис. 77

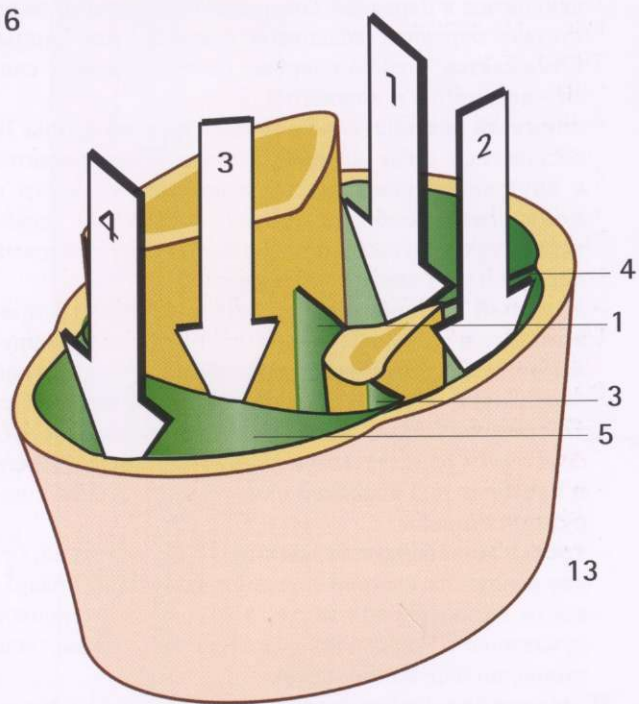


Рис. 78

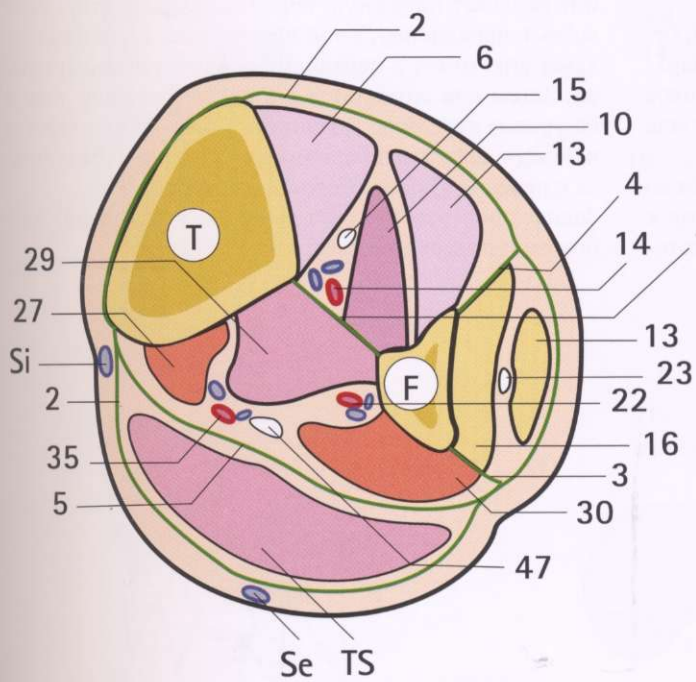


Рис. 79

## **Анатомические ложа голени (продолжение)**

**Переднее ложе** (рис. 80, вид голени спереди) занято четырьмя мышцами, в порядке изнутри кнаружи:

- **передняя большеберцовая мышца 6**, прикрепляется к большеберцовой кости, внутренней половине межкостной мембраны 1, верхней четверти глубокой поверхности поверхностного апоневроза 7. Тело мышцы занимает внутреннюю половину ложа и продолжается мощным сухожилием ТА, прикрепляющимся к передней поверхности голеностопного сустава передней кольцевой связкой тыла стопы. Сама связка, в свою очередь, состоит из двух слоев - верхнего 8 и нижнего 9.
- **длинный разгибатель большого пальца стопы 10** расположен ниже первой мышцы. Прикрепляется к внутренней поверхности малоберцовой кости и межкостной мембране. Его сухожилие ЕН параллельно предыдущему и проходит под двумя слоями передней кольцевой связки стопы.
- **длинный разгибатель пальцев стопы 11** прикрепляется к малоберцовой кости выше и кнаружи от предыдущей мышцы, а также к межкостной мембране и верхней четверти глубокой поверхности поверхностного апоневроза. Его сухожилие ЕО спускается параллельно и кнаружи от предыдущего и проходит под передней связкой тыла стопы, с наружной стороны.
- **третья малоберцовая мышца 13** непостоянна, берет начало на нижней половине наружной поверхности малоберцовой кости, а ее довольно хрупкое сухожилие ТФ проходит под передней связкой тыла стопы, по наружному краю.

**Передняя большеберцовая артерия 14** спускается со своими сопутствующими венами, плотно прилегая к межкостной перегородке, в глубине отделения, в кото-

рое она проникла через арочное отверстие, созданное двумя костями и верхним краем межкостной мембраны. Артерия сопровождается **передним большеберцовым нервом 15**, показанным на срезах на рис. 79.

**Передненаружное отделение** (рис. 81, вид голени снаружи) содержит две малоберцовые мышцы:

- **длинную малоберцовую мышцу 16**, прикрепляющуюся 17 в самом верху к наружной поверхности малоберцовой кости, наружной межмышечной перегородке 3, передненаружной межмышечной перегородке 4 и к верхней четверти глубокой поверхности поверхностного апоневроза. Ее сухожилие 18 спускается к заднему краю наружной лодыжки.
- **короткую малоберцовую мышцу 19**, которая прикрепляется под предыдущей к участку 20, занимаемому наружной поверхностью малоберцовой кости и двумя перегородками. Ее сухожилие 21 спускается параллельно и кпереди от предыдущего и скользит вместе с ним в **костно-фиброзный карман** у заднего края наружной лодыжки. В этом кармане они удерживаются, в каком бы положении ни был голеностопный сустав. В зависимости от движений сустава они меняют направление в сторону наружного края кубовидной кости.

Малоберцовая артерия 22 сопровождается **малоберцовым нервом 23** (показан на рис. 79, *стр.* 231). Артерия проникает в отделение через его верхнюю часть и пересекает наружную перегородку. Она отправляет ветвь к передненаружной перегородке 24, которая создает анастомоз с передней большеберцовой артерией. Затем она спускается в передненаружное ложе и на уровне середины голени проходит через отверстие в передненаружной перегородке 25, чтобы соединиться с передней большеберцовой артерией.

Заднее пространство состоит из двух отделений - глубокого и поверхностного.



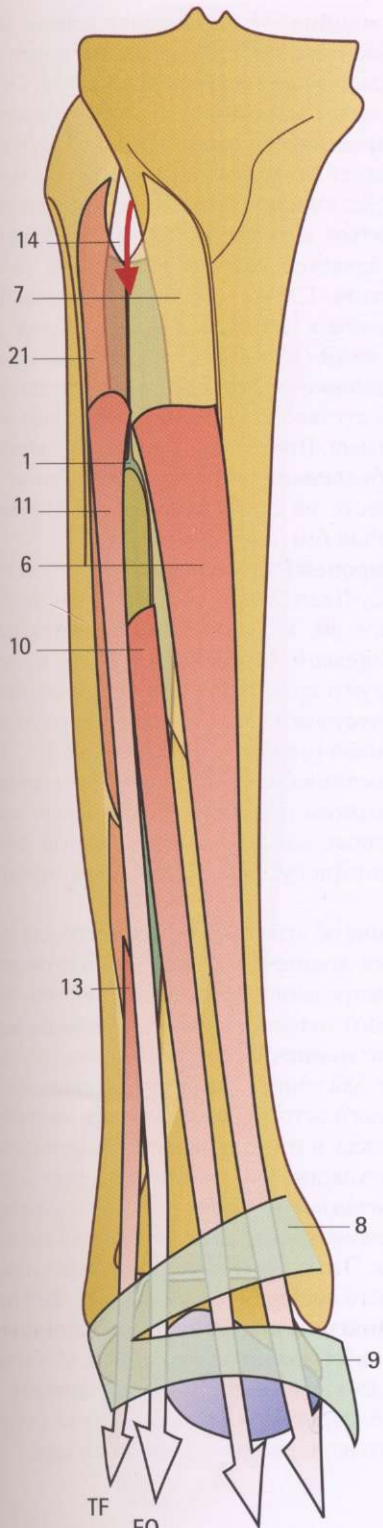


Рис. 80

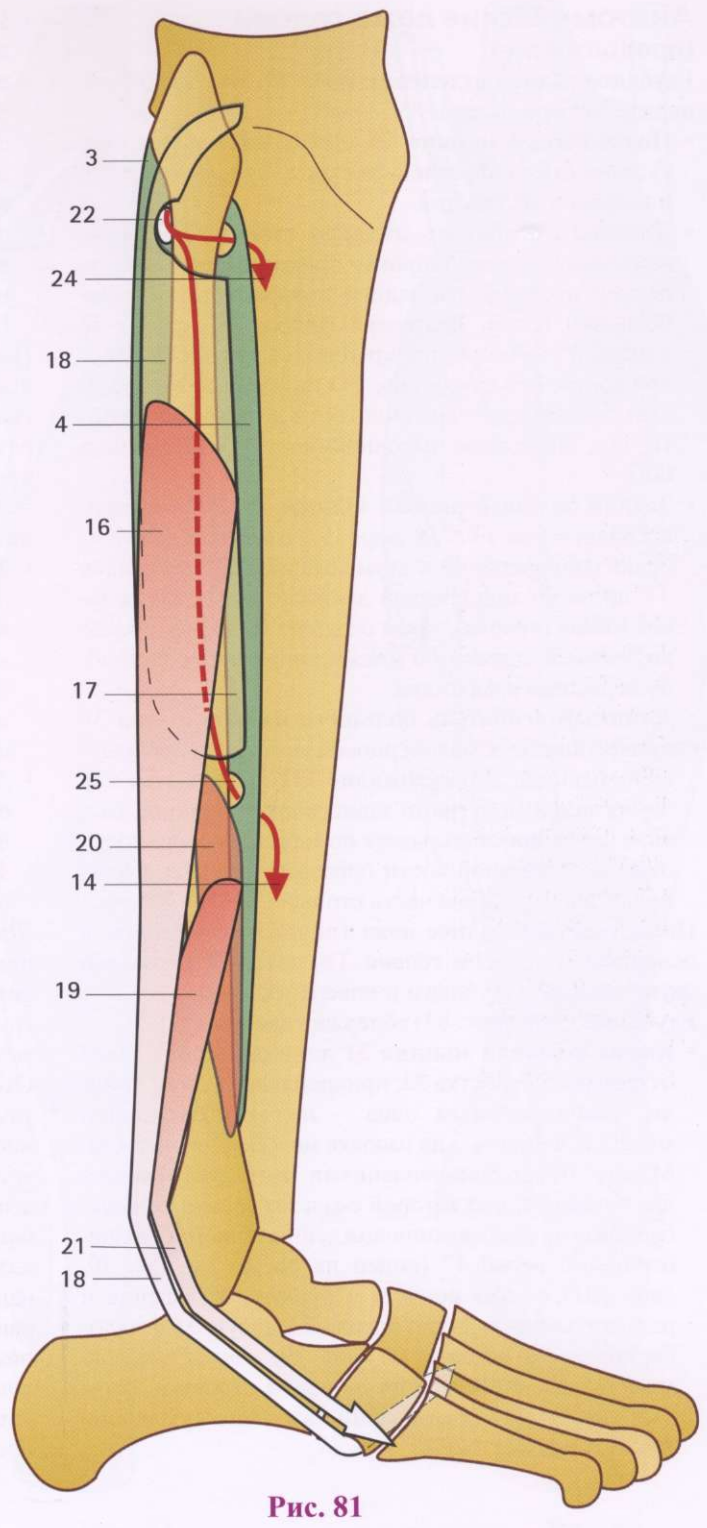


Рис. 81

## Анатомические ложа голени (продолжение)

Глубокое заднее отделение (рис. 82, вид сзади) содержит четыре мышцы:

- **Подколенная мышца 26** относится к коленному суставу. Косо направленная сверху вниз, она быстро покидает этот участок.
- **Длинный сгибатель пальцев стопы 27** - самая внутренняя, имеет широкое прикрепление на внутренней поверхности задней поверхности большеберцовой кости. Благодаря фиброзной аркаде **28** длинный сгибатель прикрепляется и к малоберцовой кости. Его сухожилие **FO** спускается и пересекает задний край таранной кости до того, как пройти под отростком пяточной кости (sustenaculum tali).
- **Задняя большеберцовая мышца 29**, которая прикрепляется (см. рис. 58, стр. 197) к межкостной мембране одновременно к двум мышцам. Ее сухожилие **TP** проходит под аркадой длинного сгибателя пальцев (белая стрелка), затем скользит по заднему краю внутренней лодыжки и меняет направление в сторону переднего края стопы.
- **Длинный сгибатель большого пальца стопы 30** прикрепляется к малоберцовой кости, под предыдущей мышцей. Его сухожилие **FN** проходит между двумя задними буграми заднего края таранной кости, а затем проскальзывает по нижней поверхности отростка пяточной кости (sustenaculum tali), чтобы попасть в переднюю часть стопы.

**Поверхностное заднее ложе** (рис. 83 и 84) занято в основном трицепсом голени **TS**, который образован двумя слоями - глубоким и поверхностным.

**Глубокий слой** (рис. 83) содержит две мышцы:

- **Камбаловидная мышца 31** длинная берет начало от сильного отростка **32**, прикрепляясь к двум линиям, расположенным одна - под камбаловидной мышцей, а другая - на головке малоберцовой кости. Между этими прикреплениями растянута фиброзная аркада **34**, под которой скользит задняя большеберцовая артерия в сопровождении заднего большеберцового нерва **47** (виден на срезах на рис. 79, стр. 231), чтобы попасть в глубокое отделение и разделиться на заднюю большеберцовую **35** и малоберцовую **22** артерии на рис. 79, стр. 231. Тело мышцы заканчивается на широком отростке, который участвует в образовании пяточного сухожилия **36** (см. стр. 248—253).

- **Подошвенная мышца 37**, наделенная совсем маленькой мышечной массой, прикрепляется к наружной суставной пластинке сесамовидной кости. Особенно тем, что имеет маленькое, но очень длинное сухожилие **38**, практически одной длины со всей голенью. Оно следует за внутренним краем камбаловидной мышцы, затем идет от пяточного сухожилия, чтобы прикрепиться к пяточной кости. Эта мышца непостоянная, является слабым сгибателем голеностопного сустава. Служит «банком сухожилий». Ее легко использовать для пересадки сухожилия.

**Поверхностный слой** (рис. 84) содержит две мышцы - головки **икроножной мышцы**, прикрепляющиеся под коленным суставом и являющиеся, таким образом, двусуставными. Вначале они имеют различные прикрепления, объединяются на средней линии и оканчиваются вместе на апоневротической системе пяточного сухожилия (см. стр. 248—253):

- **Медиальная икроножная мышца 39** берет начало на внутренней суставной пластинке и длинным сухожильным поясе **40**, который прикрепляется над внутренним мышцелком. Мышечные волокна и пояс обрамляют снаружи сухожилия полумембранозной мышцы **41** и полусухожильной **42**, которые разделены серозной сумкой (не показано на рисунке).
- **Латеральная икроножная мышца 43** прикрепляется наверху похожим образом, над наружным мышцелком. Мышечные волокна и сухожильный пояс **44** окружают изнутри сухожилие двуглавой мышцы бедра **45**.

Ясное представление об этих отделениях важно для понимания **синдрома мышечных лож (компартмент-синдром)**, часто встречающегося в травматологии. Затруднение венозного оттока, вызванное травмой, может стать причиной **мышечного отека** в ложах голени. Отек увеличивает давление в ложах, это приводит к ухудшению венозного оттока и снова к отеку. Увеличение давления в ложах в итоге приводит к нарушению артериальной циркуляции, что *ставит под удар жизнеспособность дистальной части нижней конечности*, а особенно *лишит кровоснабжения нервы, расположенные в ложах*. Это может привести к длительному нарушению нервного сообщения и разрушить сами нервные волокна. **Диагностика синдрома мышечных лож должна быть как можно более ранней**, чтобы не довести процесс до единственного метода лечения - поверхностной апоневротомии, которая, снижая давление в отделениях голени, разорвет замкнутый круг.

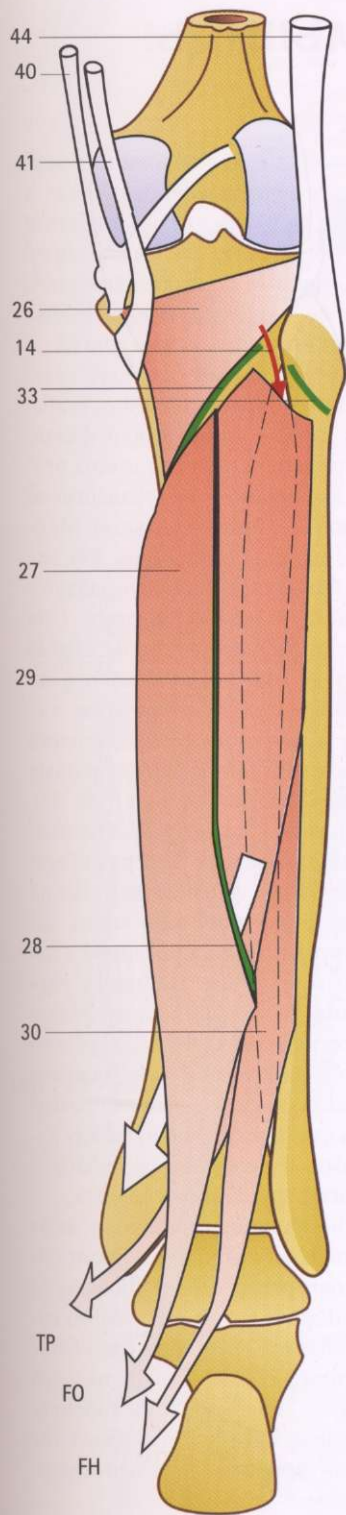


Рис. 82

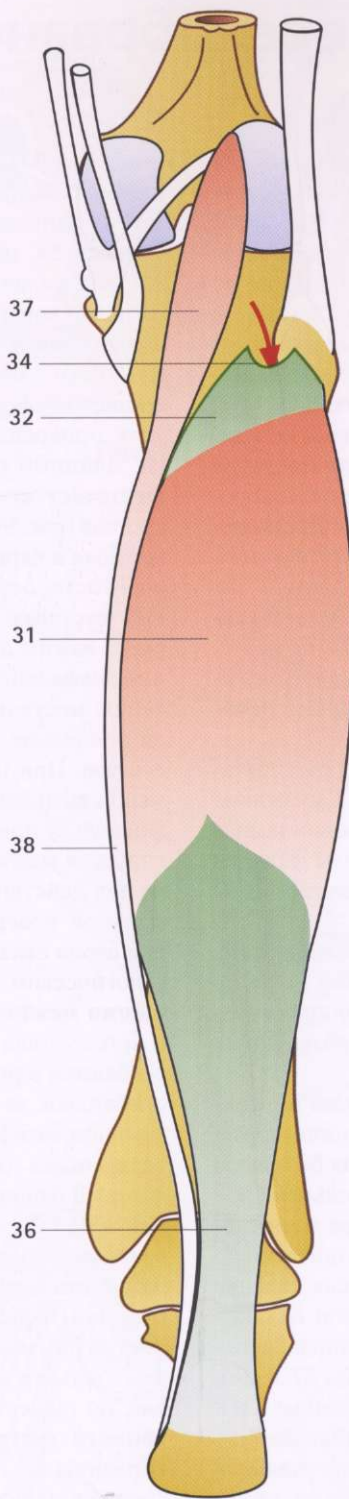


Рис. 83

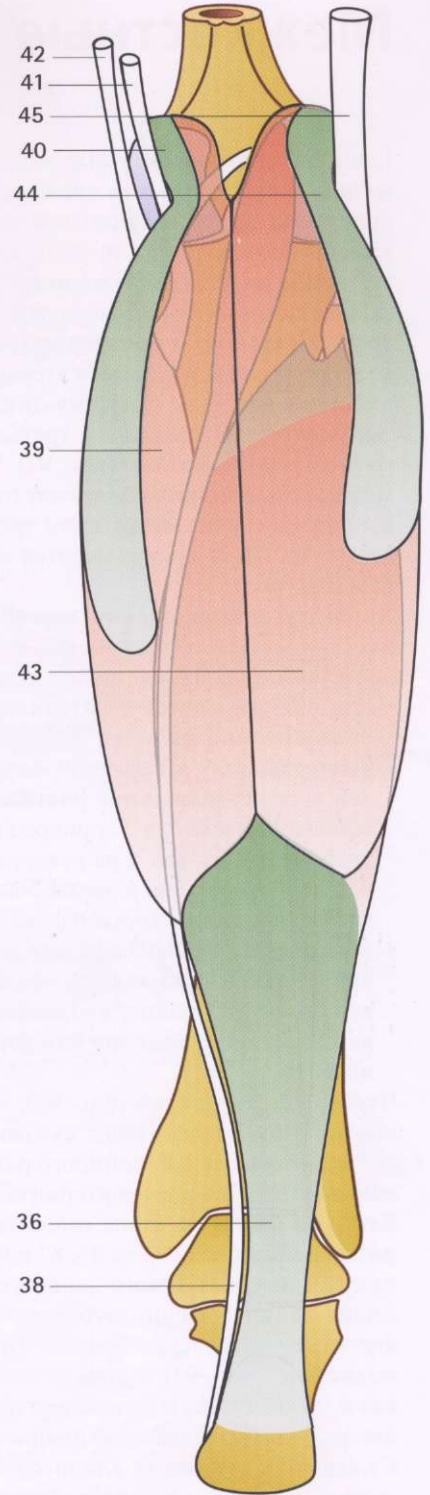


Рис. 84

# Межкостные и червеобразные мышцы

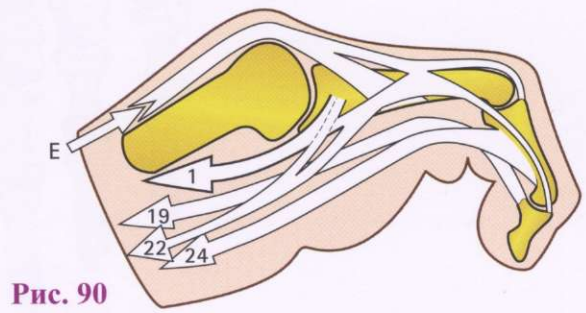
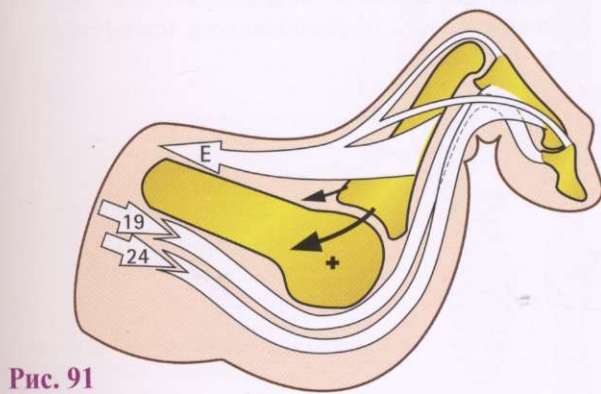
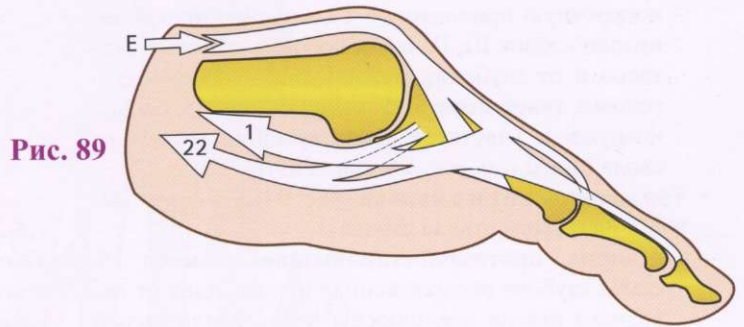
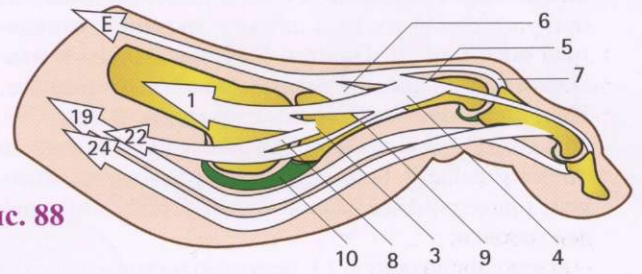
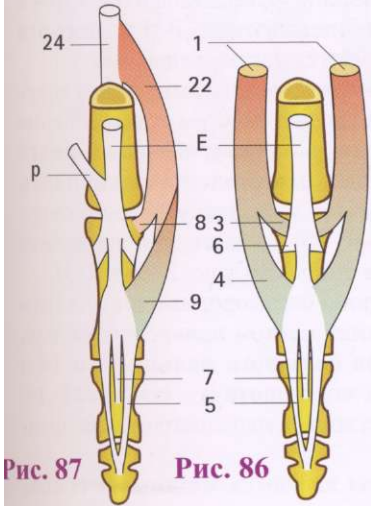
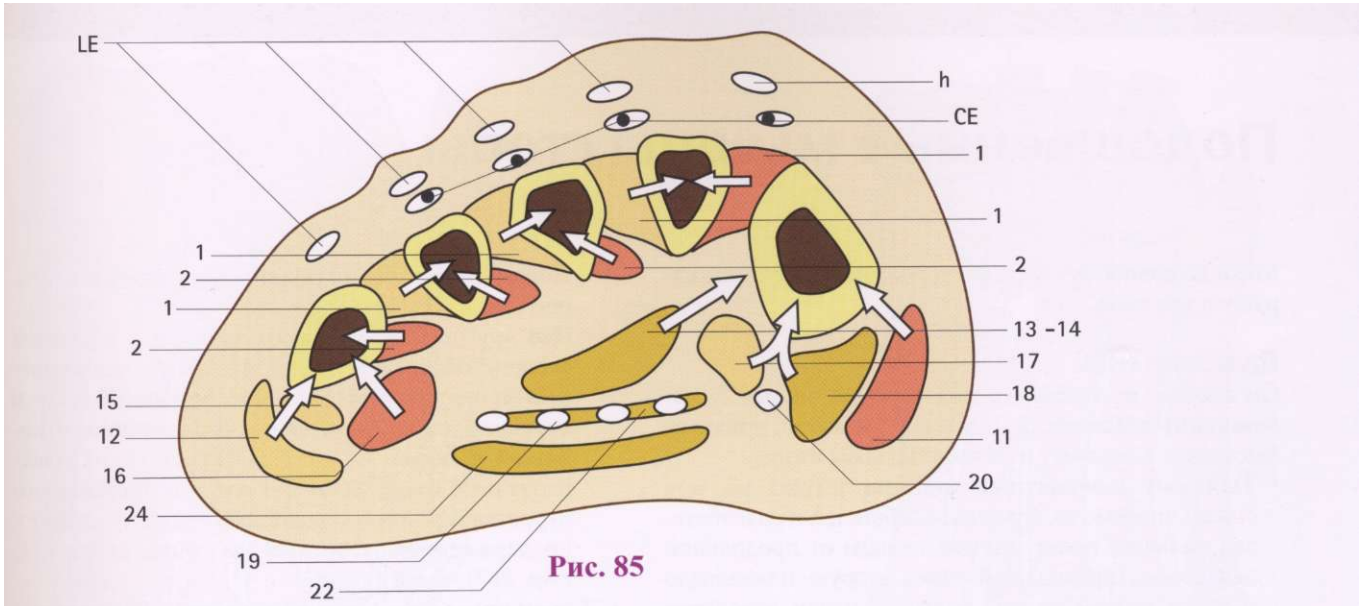
Как и на кисти, межкостные мышцы подразделяются на две группы (**тыльные** и **подошвенные**), но их расположение на стопе несколько иное (рис. 85, фронтальное сечение стопы, показан задний срез). **Четыре тыльные межкостные мышцы 1** центрированы по отношению ко второй плюсневой кости (на кисти - к третьей пястной) и прикрепляются (**белые стрелки**) ко второму пальцу (первая и вторая межкостные мышцы) или к наиболее близкому от второго пальцу: третья межкостная мышца - к третьему, четвертая межкостная - к четвертому (рис. 92). **Три подошвенные межкостные мышцы 2** отходят от внутренней стороны подошвенной поверхности трех последних плюсневых костей и прикрепляются к соответствующим пальцам (рис. 93).

**Характер прикрепления межкостных мышц стопы** схож с кистью (рис. 86, вид сухожилий разгибателей с тыла; рис. 88, вид мышц пальцев стопы сбоку):

- они прикрепляются к **латеральной стороне основания первой фаланги 3**,
- к латеральному растяжению 5 сухожилия разгибателей через **сухожильное растяжение 4**. Сухожилие общего разгибателя E прикрепляется волокнами к трем фалангам, как и на руке, но по краям фаланги 6, а не к основанию и двумя боковыми растяжениями 5 к основанию третьей фаланги:
- проксимальнее плюснефалангового сустава (рис. 87, вид с тыла) сухожилия разгибателей II, III и IV пальцев стопы получают у своего наружного края соответствующие сухожилия P от короткого разгибателя пальцев.

Чтобы дополнить срез (рис. 85), на тыльной поверхности стопы расположены сухожилия длинного разгибателя пальцев LE, длинного разгибателя большого пальца стопы h и короткого разгибателя пальцев SE. Как и на кисти, на стопе имеются **четыре червеобразные мышцы 22** (рис. 85, 87 и 90), берущие начало на сухожилиях глубокого длинного сгибателя пальцев стопы 19 (аналогично глубокому сгибателю пальцев кисти). Каждая червеобразная мышца направляется медиально (рис. 97) и прикрепляется (рис. 87 и 88), как и межкостные, к основанию первой фаланги 8 и к латеральному растяжению длинного разгибателя 9. Сухожилие глубокого длинного сгибателя пальцев стопы 19, как и глубокий сгибатель пальцев кисти

(рис. 88 и 97), проходит в контакте с волокнисто-хрящевой пластинкой 10 плюснефалангового сустава и затем проникает через сухожилие короткого сгибателя пальцев 24, после чего прикрепляется к основанию третьей фаланги. Таким образом, короткий сгибатель пальцев, внутренняя, или собственная, мышца стопы, аналогичен общему поверхностному сгибателю пальцев кисти - он расположен поверхностно, и его сухожилие «перфорируется» сухожилием длинного сгибателя, прикрепляющегося далее к краям второй фаланги. Длинный глубокий сгибатель пальцев стопы осуществляет сгибание в дистальном межфаланговом суставе (рис. 90), а короткий — в проксимальном. Межкостные и червеобразные мышцы стопы (рис. 89), как и на кисти, осуществляют сгибание в плюснефаланговых суставах и разгибание в межфаланговых. Они очень важны для стабилизации пальцев стопы: сгибая плюснефаланговые суставы, они обеспечивают фиксацию места прикрепления экстензоров пальцев, когда последние участвуют в сгибании голеностопного сустава. При параличе межкостных и червеобразных мышц возникает «**клешнеобразная**» стопа (рис. 91). Поскольку плюснефаланговый сустав больше не фиксируется межкостными мышцами, он переразгибается под действием экстензоров, и фаланга скользит по тыльной поверхности головки плюсневой кости. Затем стопа оказывается вторично фиксированной в патологическом положении вследствие **тыльного смещения межкостных мышц** выше оси плюснефалангового сустава +. Кроме того, межфаланговые суставы сгибаются в результате «относительного укорочения» сгибателей, за чем следует подвывих к тылу в проксимальном межфаланговом суставе (стрелка) между латеральными растяжениями сухожилия разгибателя, который начинает выполнять функцию сгибателя. Как и на кисти, положение пальцев стопы зависит от равновесия между отдельными мышцами. Таким образом, становится понятным утверждение Дюшена де Булонь (Duchenne de Boulogne) о том, что только короткий разгибатель SE является истинным разгибателем пальцев стопы. Длинный разгибатель пальцев LE, по существу, действует как **сгибатель голеностопного сустава**, и Дюшен считает, что было бы «правильнее», если бы он прикреплялся непосредственно к плюсневым костям.



# Подшвенные мышцы стопы

Мышцы подошвы стопы расположены из глубины наружу в три слоя.

## Глубокий слой

Он состоит из **тыльных межкостных мышц 1**, **подошвенных межкостных мышц 2** и мышц, прикрепляющихся к первому и пятому пальцам стопы.

- **Тыльные межкостные мышцы 1** (рис. 92, вид снизу), помимо их функции сгибателей и разгибателей пальцев, также отводят пальцы от продольной оси стопы, проходящей через вторую плюсневую кость и второй палец. Большой палец отводится **мышцей, отводящей большой палец стопы 11**, которая прикрепляется сзади к задневыступающему бугру пяточной кости, а пятый - **мышцей, отводящей мизинец 12**. Поэтому данные мышцы аналогичны по функции тыльным межкостным мышцам.
- **Подошвенные межкостные мышцы 2** (рис. 93, вид снизу) приближают три последних пальца ко второму пальцу. Большой палец приводится мышцей, приводящей большой палец стопы, имеющей две головки:
  - косую приводящую **13**, берущую начало от костей переднего отдела предплюсны,
  - поперечную приводящую **14**, идущую от подошвенных связок III, IV и V плюснефаланговых суставов и от глубоких межплюсневых связок; эта головка тянет первую фалангу большого пальца кнаружи и участвует в поддержании переднего свода стопы (см. рис. 28, стр. 269).
- Три **мышцы пятого пальца** (рис. 94, вид снизу) лежат в наружном отделе стопы.
  - **Мышца, противопоставляющая мизинец 15**, самая глубоко расположенная из них, идет от переднего отдела предплюсны к пятой плюсневой кости и действует аналогично соответствующей мышце пятого пальца кисти, но не столь эффек-

тивно. Она влияет на глубину наружного и переднего сводов стопы.

- Две другие мышцы прикрепляются к наружной стороне основания первой фаланги - это **короткий сгибатель мизинца 16**, берущий начало в переднем отделе предплюсны, и **мышца, отводящая мизинец 12**, которая начинается от задне-наружного бугра пяточной кости и шиловидного отростка пятой плюсневой кости. Она участвует в поддержании наружного свода стопы (см. рис. 18, стр. 267).
  - Три **мышцы большого пальца** (рис. 94) расположены во внутреннем отделе подошвы стопы (за исключением приводящей мышцы). Они прикрепляются к наружным буграм основания первой фаланги и к двум сесамовидным костям, сочленяющимся с головкой первой плюсневой кости. Вот почему эти мышцы также называются сесамовидными:
    - На внутренней стороне стопы сесамовидная кость и первая фаланга служат местом прикрепления внутренней порции **короткого сгибателя первого пальца 17** и **мышцы, отводящей первый палец 11**, которая начинается у задневыступающего бугра пяточной кости (рис. 95) и участвует в поддержке внутреннего свода стопы (см. рис. 7, стр. 265).
    - На наружной стороне сесамовидная кость и первая фаланга являются местом прикрепления двух головок **аддуктора большого пальца 13** и **14** и наружной порции его **короткого сгибателя 18**, начинающегося на костях переднего отдела предплюсны.
- Сесамовидные мышцы являются **мощными сгибателями большого пальца**, они играют важную роль в его стабилизации. Их паралич ведет к «клевшеобразной» деформации большого пальца. Они также очень активны в последнюю фазу шага (см. рис. 50, стр. 275).

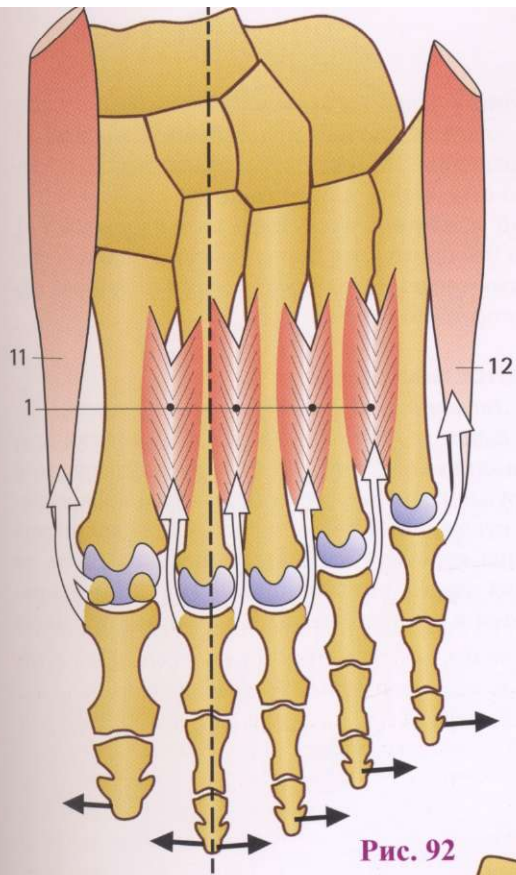


Рис. 92

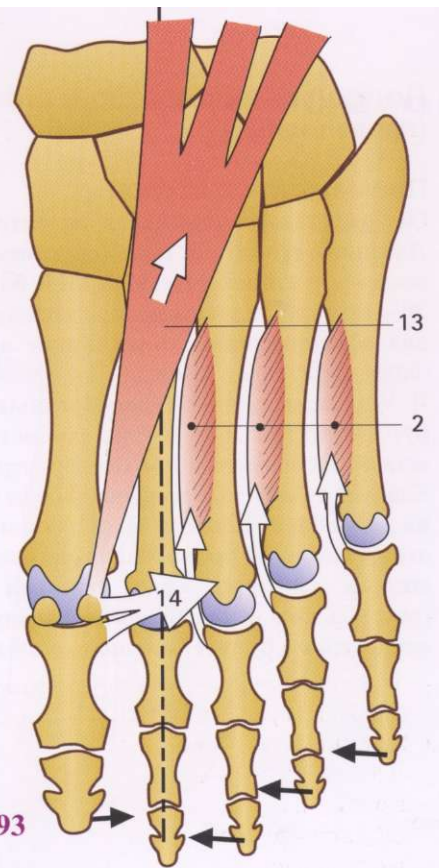


Рис. 93

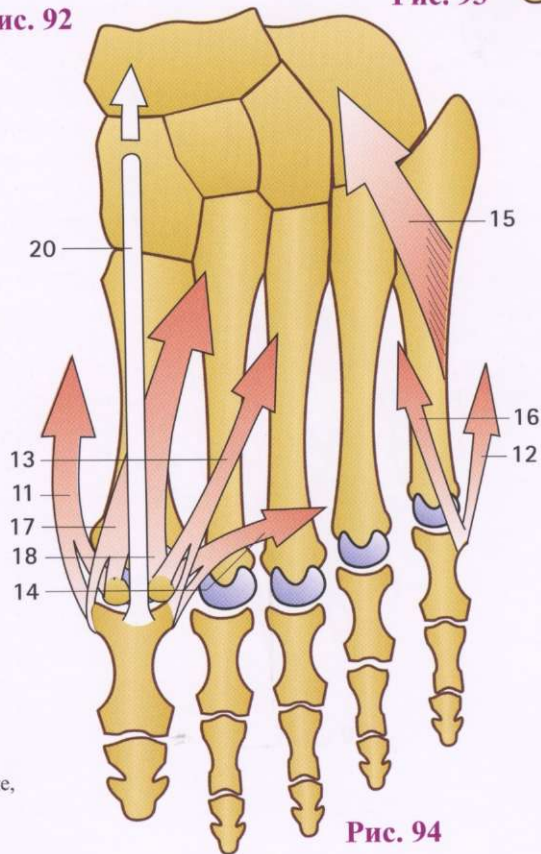


Рис. 94

Цифровые и буквенные обозначения те же, что и в предыдущем разделе

## **Подошвенные мышцы стопы (продолжение)**

### **Промежуточный слой**

Он представлен длинными сгибателями (рис. 96). **Длинный сгибатель пальцев стопы** 19 снизу пересекается с **длинным сгибателем большого пальца** 20 - там, где они выходят из пяточного канала. Затем она обмениваются **сухожильным анастомозом** 21. Затем происходит деление на 4 сухожилия, идущие к II—V пальцам стопы. **Червеобразные мышцы** 22 берут начало (рис. 97) от двух соответствующих сухожилий, за исключением первой червеобразной 22'. Каждое сухожилие перфорирующее и оканчивается на дистальной фаланге. Наклонное направление тяги этих сухожилий уравнивается плоской мышцей, которая проходит вдоль длинной оси подошвы (рис. 97). Она начинается от задневнутреннего и задненаружного бугров пяточной кости и прикрепляется

к наружному краю сухожилия, идущего к пятому пальцу - это **квадратная подошвенная мышца** 23. При сокращении эта мышца уменьшает наклон сухожилий по отношению к оси стопы.

**Длинный сгибатель большого пальца стопы** (20, рис. 94 и 96) проходит в бороздке между двумя сесамовидными костями и прикрепляется к его второй фаланге, которую мощно сгибает.

### **Поверхностный слой**

Он представлен одной мышцей (рис. 95), которая лежит в среднем отделе подошвы. Это **короткий сгибатель пальцев** 24, идущий от задневнутреннего и задненаружного бугров пяточной кости и прикрепляющийся сухожилием к II—V пальцам. Данная мышца аналогична короткому сгибателю пальцев кисти, ее сухожилия также перфорированы (рис. 97) и прикрепляются к средней фаланге, которую эта мышца сгибает.



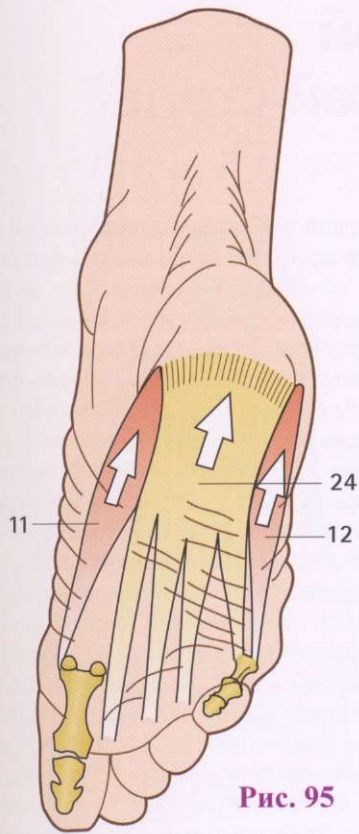


Рис. 95

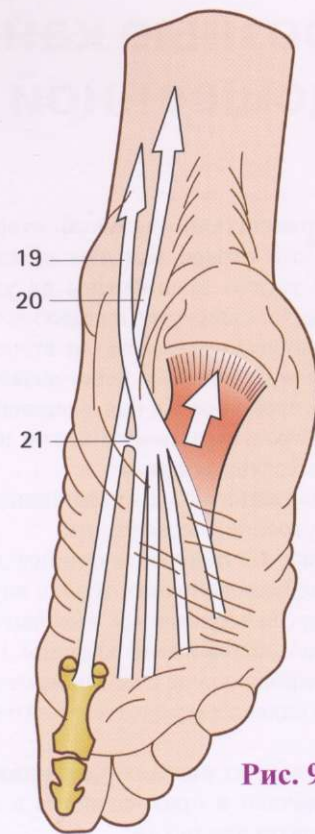


Рис. 96

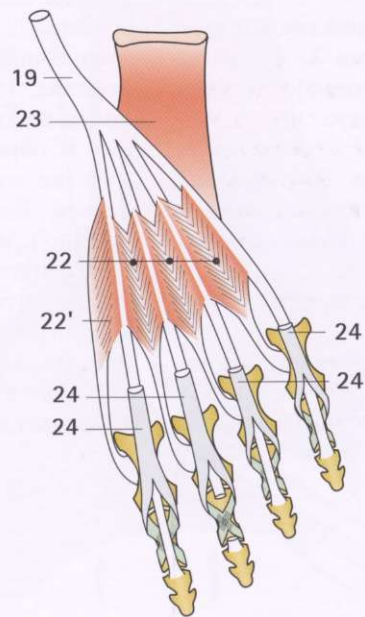


Рис. 97

# Фиброзные каналы тыльной и подошвенной поверхностей стопы

**Нижний удерживатель тыльной стороны стопы** (рис. 98) держит четыре тыльных сухожилия стопы прижатými к костям предплюсны на уровне вогнутости подъема, т.е. действует наподобие **петли блока** для этих сухожилий независимо от степени сгибания в голеностопном суставе. Он берет начало от верхней стенки синуса предплюсны, идя к верхней поверхности большого отростка пяточной кости, и подразделяется на два расходящихся тяжа:

- **Средний удерживатель а**, сливающийся с глубокой фасцией внутреннего края стопы;
- **Верхний тяж Б**, прикрепляющийся к переднему краю большеберцовой кости вблизи внутренней лодыжки. Изнутри верхний тяж выстлан **сухожилием передней большеберцовой мышцы 1**, которое заключено в синовиальное влагалище от точки, отстоящей на два пальца кверху от верхнего края удерживателя с.

Снаружи он покрыт **нижним удерживателем**, который берет начало и прикрепляется в пазухе предплюсны, образуя **две петли**:

- **внутренняя петля** вмещает **сухожилие длинного разгибателя большого пальца 2**, заключенное в синовиальное влагалище, которое с трудом покрывает кольцевую связку сверху;
- **наружная петля** представлена сухожилиями **длинного разгибателя пальцев 3** и **третьей малоберцовой мышцы 4**, расположенными в общем синовиальном влагалище, начинающемся чуть выше предыдущего.

Все другие сухожилия проходят через **каналы, лежащие позади лодыжек**.

**Кзади от наружной лодыжки** расположен наружный почадилодыжечный канал (рис. 99, вид снаружи): сухожилия короткой малоберцовой мышцы 6

кверху и кпереди и длинной малоберцовой мышцы 7 кзади и книзу проходят через костно-фиброзный канал 5. Эти сухожилия расположены параллельно друг другу, первое лежит кзади и книзу от последнего. Ниже верхушки лодыжки они резко изгибаются кпереди и натягиваются в двух костно-фиброзных каналах 8 и 9, опираясь на малоберцовый бугор 10. Здесь их общее синовиальное влагалище разделяется на два слоя. Сухожилие короткой малоберцовой мышцы прикрепляется к шиловидному отростку пятой плюсневой кости 11 и к основанию четвертой плюсневой кости. Небольшой сегмент 12 этого сухожилия на рисунке иссечен, чтобы показать, как сухожилие длинной малоберцовой мышцы меняет свое направление и входит в бороздку на нижней поверхности кубовидной кости 13. Затем сухожилие длинной малоберцовой мышцы 14, заключенное в новое синовиальное влагалище, проходит косо кпереди и кнутри по подошвенной поверхности стопы (рис. 100 вид на кости стопы снизу) через другой костно-фиброзный канал, образованный сверху костями предплюсны, а снизу - поверхностными волокнами подошвенной пяточно-кубовидной связки (глубокие волокна, 15), идущей от пяточной 16 к кубовидной кости, а оттуда к основаниям всех плюсневых костей (+). В образовании этого канала также принимают участие волокна конечного растяжения сухожилия задней большеберцовой мышцы 17. Сухожилие длинной малоберцовой мышцы преимущественно прикрепляется к основанию первой плюсневой кости 18, но также к растяжениям, направляющимся ко второй плюсневой и к внутренней клиновидной костям. Входя в подошвенный канал, оно, как правило, вступает в контакт с сесамовидной костью 19, что позволяет ему легче изменить свое направление.

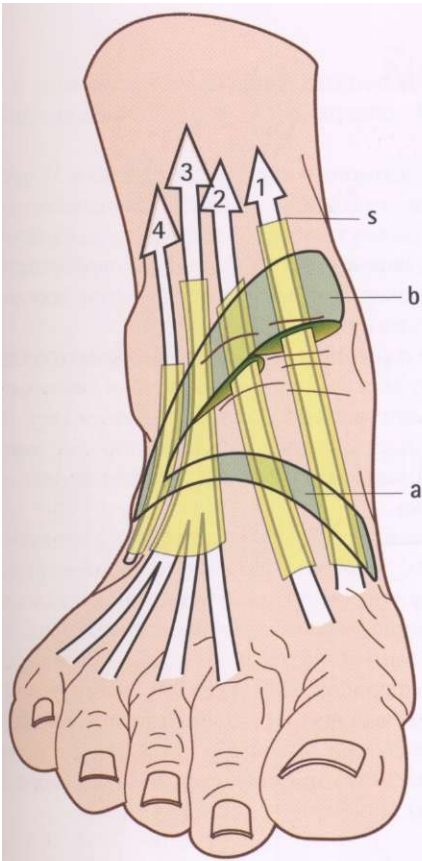


Рис. 98

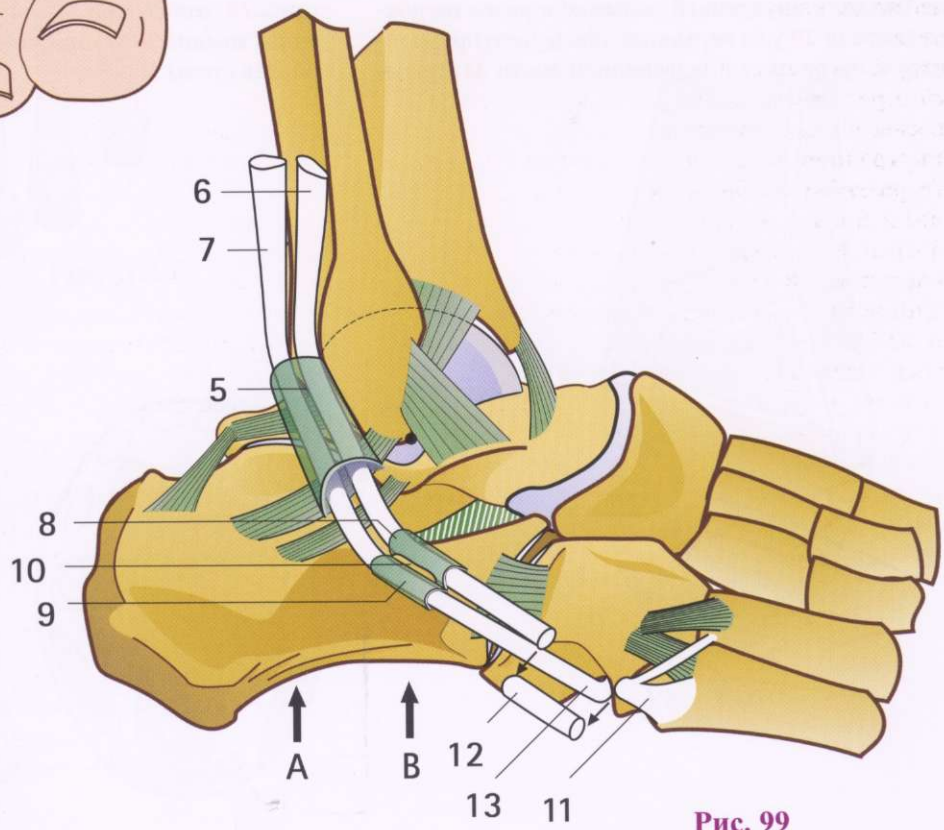


Рис. 99

## **Фиброзные каналы тыльной и подошвенной поверхностей стопы (продолжение)**

Таким образом, подошвенная поверхность стопы выстлана **тремя группами фиброзных растяжений** (рис. 100):

- **продольными** волокнами, расположенными в два слоя большой пяточно-кубовидной подошвенной связки; на рисунке показан только глубокий слой **15**;
- волокнами сухожилия длинной малоберцовой мышцы **14**, идущими **косо кпереди и кнутри**;
- фиброзными растяжениями сухожилия задней большеберцовой мышцы **17**, проходящими **косо кпереди и кнаружи** от всех костей предплюсны и плюсны за исключением двух последних плюсневых.

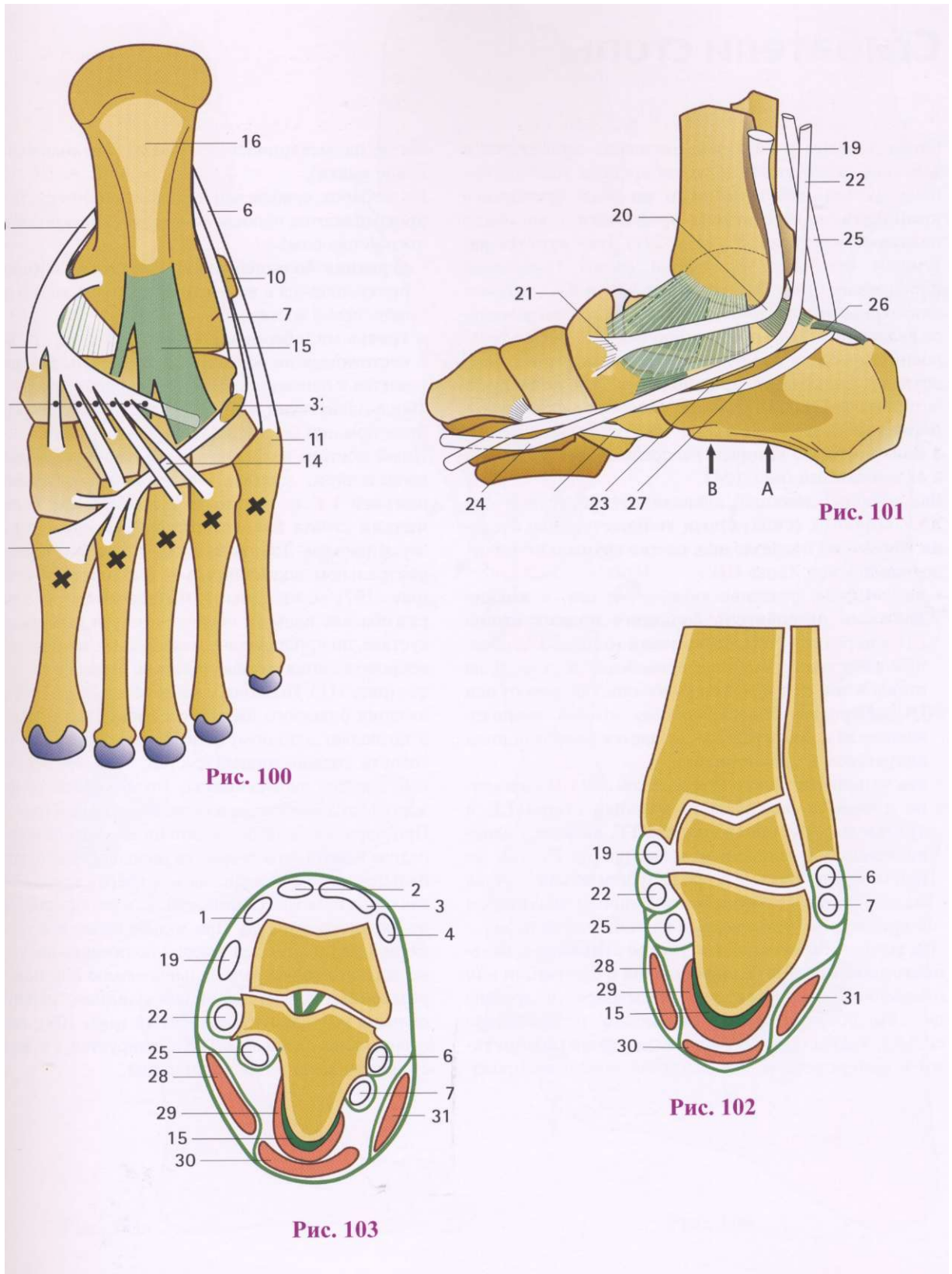
**Кзади от внутренней лодыжки** (рис. 101, вид изнутри) расположены **три сухожилия**, заключенные в костно-фиброзный канал и имеющие отдельные сухожильные влагалища. Эти сухожилия проходят спереди назад и изнутри кнаружи следующим образом:

- **сухожилие задней большеберцовой мышцы 19** идет близко к внутренней лодыжке и резко изгибается кпереди **20** у ее верхушки, после чего прикрепляется к бугристости ладьевидной кости **21**, посы-

лая многочисленные фиброзные растяжения к подошвенной поверхности костей предплюсны и плюсны **17**;

- **сухожилие длинного сгибателя пальцев 22** проходит вблизи сухожилия задней большеберцовой мышцы вдоль внутренней поверхности sustentaculum tali (**23**; см. также рис. 103), а затем пересекается с глубокой поверхностью **24** сухожилия длинного сгибателя большого пальца;
- **сухожилие длинного сгибателя большого пальца 25** проходит между задне-внутренним и задне-наружным буграми таранной кости (см. также стр. 184), а затем - под sustentaculum tali (**27**; см. также рис. 103). Таким образом, оно дважды меняет свое направление.

**Два фронтальных среза** (передний срез, правая стопа) на уровнях **А** и **В** на рис. 99 и 101 демонстрируют расположение этих сухожилий и их синовиальных влагалищ в позадилодыжечных каналах: срез **А** (рис. 102) сделан через лодыжки, срез **В** (рис. 103) - более кпереди: через sustentaculum tali и малоберцовый бугор. Также тут видны мышцы, приводящие большой палец стопы **28**, отводящие мизинец **31**, квадратная подошвенная мышца **29** и короткий подошвенный сгибатель пальцев стопы **30**.



**Рис. 100**

**Рис. 101**

**Рис. 102**

**Рис. 103**

# Сгибатели стопы

Стопа в целом и ее задняя половина приводятся в действие сгибателями и разгибателями голеностопного сустава, действующими по осям суставного комплекса заднего отдела предплюсны, как было показано ранее (рис. 55, стр. 221). Нам кажется разумным отказаться от старой схемы Омбредана (Ombredanne) (рис. 105) с осями XX' и ZZ', перпендикулярными друг другу, так как она не соответствует реальности. По определению оси XX' и UU' гетерокинетического кардана не перпендикулярны друг другу, и это создает **предпосылки для движений**, чему еще в большей степени способствует неравномерное распределение мышц. На этих осях основаны **4 квадранта**, по которым распределяются 10 **мышц** и 13 **сухожилий** (рис. 104).

Все мышцы, лежащие впереди от поперечной оси XX', являются **сгибателями голеностопного сустава**. Их можно подразделить на две группы по их отношению к оси Хенке UU':

- две мышцы, лежащие *кнутри от оси*, а именно **длинный разгибатель большого пальца стопы ЕН** и **передняя большеберцовая мышца ТА**, обеспечивают одновременное *приведение* и *супинацию* стопы и тем сильнее, чем более они удалены от оси UU'. Передняя большеберцовая мышца, расположенная дальше от оси UU', является более мощным аддуктором и супинатором;
- две мышцы, лежащие *кнаружи от оси UU'*, а именно **длинный разгибатель пальцев стопы ЛЕ** и **третья малоберцовая мышца ТГ**, являются одновременно абдукторами и пронаторами. По той же причине, что указана в предыдущем абзаце, третья малоберцовая является более мощным абдуктором и пронатором, чем длинный разгибатель пальцев.

Для того чтобы обеспечить **чистое сгибание в голеностопном суставе** без приведения и супинации или отведения и пронации, эти две мышечные группы должны сократиться одновременно и одинаково сильно. Таким образом, они являются **антагонистами** и **синергистами** (их действия можно воспроиз-

вести на механической модели, расположенной в конце книги).

Из четырех сгибателей голеностопного сустава два прикрепляются непосредственно к костям предплюсны или плюсны:

- **передняя большеберцовая мышца ТА** (рис. 106) прикрепляется к внутренней клиновидной и первой плюсневой костям,
- **третья малоберцовая мышца ТГ** (рис. 107), существующая не более чем в **90%** случаев, прикрепляется к основанию пятой плюсневой кости.

Они воздействуют непосредственно на стопу и не требуют помощи со стороны остальных мышц.

Иначе обстоит дело с двумя другими сгибателями голеностопного сустава - **длинным разгибателем пальцев ЛЕ** и **длинным разгибателем большого пальца стопы ЕН**, которые воздействуют на стопу через пальцы. Так, если пальцы стабилизированы в нейтральном положении или в положении сгибания (рис. 107) межкостными мышцами 1х, то длинный разгибатель пальцев сгибает стопу в голеностопном суставе, но при параличе межкостных мышц сгибание сопровождается *клевнеобразной деформацией пальцев* (рис. 111). Подобным же образом (рис. 106) стабилизация большого пальца сесамовидными мышцами S позволяет длинному разгибателю большого пальца согнуть голеностопный сустав; если же сесамовидные мышцы парализованы, это движение сопровождается *клевнеобразным большим пальцем* (рис. 109). При параличе или недостаточности мышц переднего отдела голени, что случается довольно часто, кончики пальцев не могут подниматься вверх (рис. 108). Такая стопа называется **конской**, или pes equinus (equus-по-латински лошадь). При ходьбе пациент с такой деформацией вынужден высоко поднимать ногу, чтобы не задевать кончиками пальцев землю или пол. В определенных случаях функция длинного разгибателя пальцев выпадает не полностью (рис. 109), поэтому отвисающая стопа еще и вальгизируется, т.е. возникает эквино-вальгусная деформация.

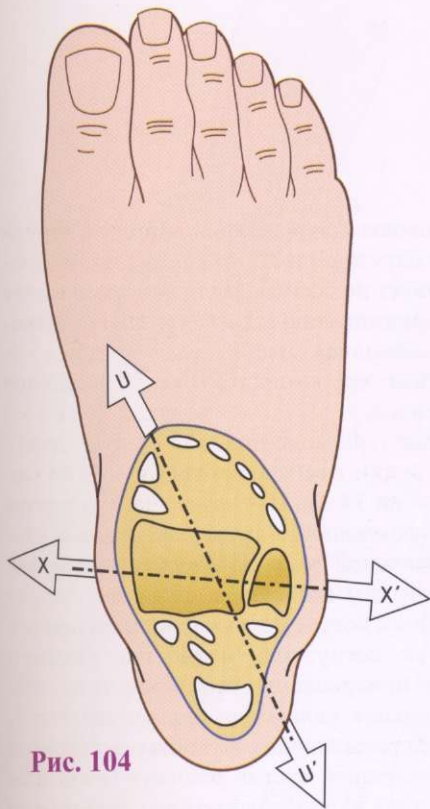


Рис. 104

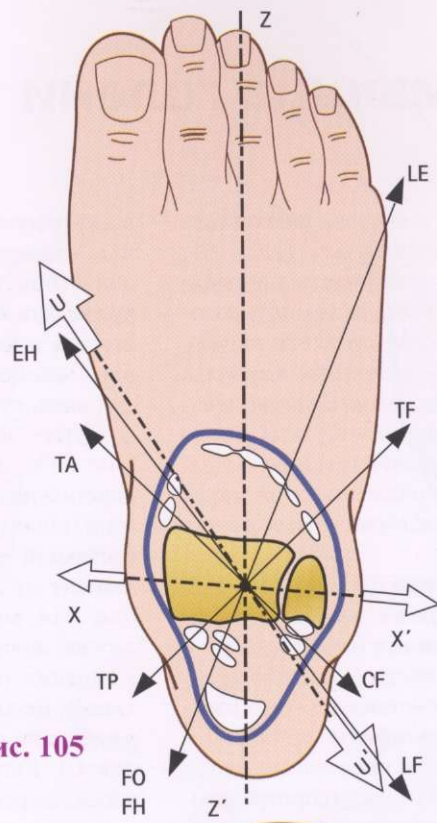


Рис. 105

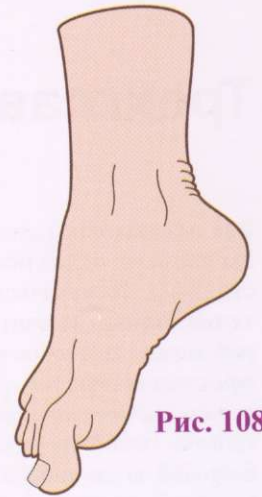


Рис. 108

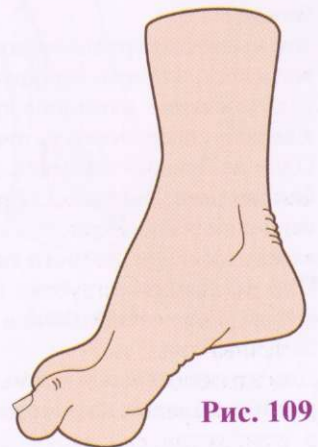


Рис. 109

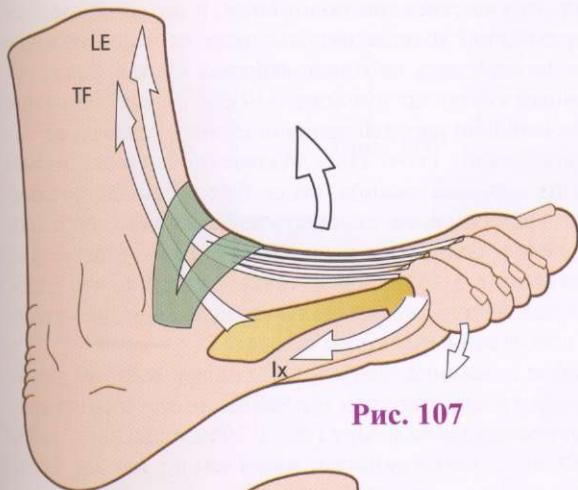


Рис. 107

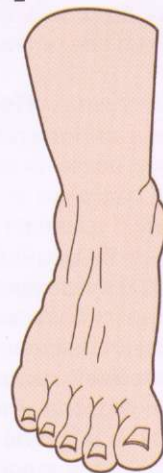


Рис. 110

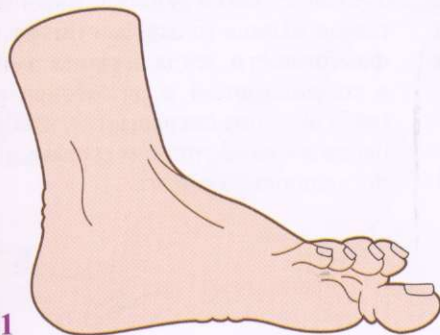


Рис. 111

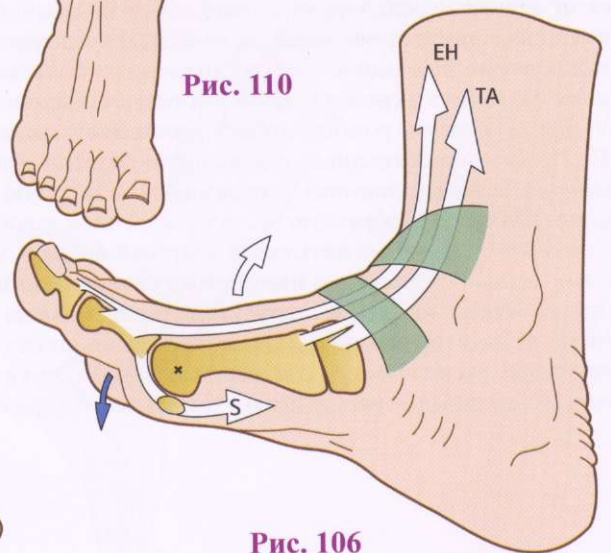


Рис. 106

# Трехглавая мышца голени

Все разгибатели голеностопного сустава расположены кзади от оси сгибания/разгибания XX' (рис. 105, стр. 247). Теоретически существует **шесть разгибателей стопы** (не считая подошвенную мышцу, которой можно пренебречь). Однако на практике *только трехглавая мышца голени (икроножная и камбаловидная) эффективно выполняет функцию разгибания*, являясь одной из самых мощных мышц тела после большой ягодичной и четырехглавой мышцы бедра. С другой стороны, аксиальное положение этой мышцы заставляет ее работать прежде всего как *разгибатель*.

Эта мышечная группа включает *три брюшка* (рис. 112, вид сзади), которые прикрепляются с помощью общего сухожилия - **ахиллова сухожилия (пяточного) 1** - к задней поверхности пяточной кости (*см. след. стр.*). Одно из брюшек является односуставным - это **камбаловидная мышца 2**, берущая начало от большеберцовой и малоберцовой костей и простирающегося между ними **фиброзного тяжа 3** (показан прозрачно). Она расположена глубоко и выходит на поверхность только у дистального конца по обе стороны от ахиллова сухожилия.

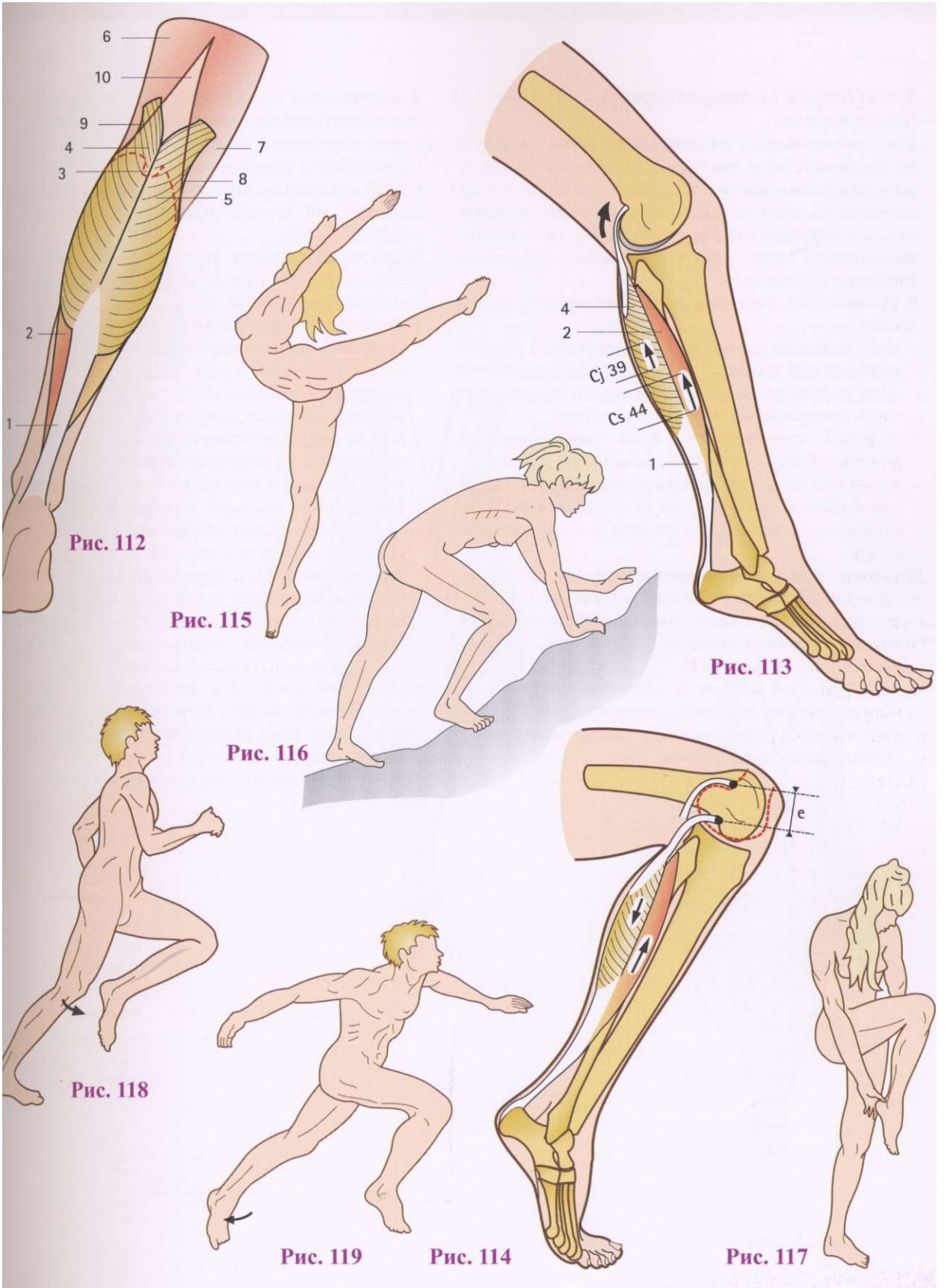
Два других (икроножная мышца) - двусуставные. **Наружная головка икроножной мышцы 4** начинается в углублении над наружным мыщелком бедра и на мыщелковой пластинке, которая иногда содержит сесамовидную кость. **Внутренняя головка 5** начинается от задней поверхности нижнего конца бедренной кости над внутренним мыщелком и от внутренней мыщелковой пластинки. Эти два мышечных брюшка ниже сливаются у средней линии и образуют нижнюю V-образную часть ромбовидной **подколенной ямки 10**. По бокам они граничат с седалищно-бедренными мышцами, расходящимися проксимально и образующими верхнюю V-образную часть подколенной ямки, а именно: снаружи - с **двуглавой мышцей бедра 6**, а с внутренней стороны - с **мышцами гусиной лапки** (портняжной, тонкой и полусухожильной мышцами) 7. Между икроножной мышцей и седалищно-бедренными расположены две синовиальные сумки: одна, постоянная, - между полусухожильной мышцей

и внутренней головкой икроножной 8, вторая, наружная, - между ее наружной головкой и двуглавой мышцей 9 (присутствует не всегда). Наличие сумок может приводить к возникновению подколенных кист. Икроножная и камбаловидная мышцы заканчиваются общим апоневрозом, от которого отходит истинное ахиллово сухожилие.

Эти три мышцы сокращаются на разную длину (рис. 113, вид сбоку): камбаловидная Cj - на 44 мм, икроножная Cs - на 39 мм. Из сказанного становится ясно, почему эффективность функционирования двусуставной икроножной мышцы столь существенно зависит от амплитуды сгибания в коленном суставе (рис. 114, вид сбоку, колено согнуто). Когда коленный сустав полностью согнут или полностью разогнут, смещение точек прикрепления этой мышцы обеспечивает относительное удлинение или укорочение e, равное или даже превышающее величину ее сокращения Cj. Когда коленный сустав разогнут (рис. 115), пассивно растянутая икроножная мышца оказывается в преимущественном положении, и это позволяет четырехглавой мышце использовать часть своей силы для воздействия на голеностопный сустав. Когда коленный сустав согнут (рис. 117), икроножная мышца максимально расслабляется (e становится больше Cj) и утрачивает свою силу. Активной остается только камбаловидная мышца, но ее было бы недостаточно для эффективного осуществления ходьбы, бега или прыжков, если бы в этих процессах не участвовало разгибание в коленном суставе. Помните, что икроножная мышца, несмотря на ее положение, не является сгибателем коленного сустава.

Любое движение, ведущее к одновременному разгибанию голеностопного и коленного суставов, например восхождение в гору (рис. 116) или бег (рис. 118 и 119), вовлекает в действие икроножную мышцу. Трехглавая мышца голени **достигает максимальной эффективности**, когда, начиная из положения сгибания в голеностопном и разгибания в коленном суставе (рис. 118), она сокращается, чтобы обеспечить разгибание в голеностопном суставе (рис. 119) и **толчок** в последнюю фазу шага.





## Трехглавая мышца голени (продолжение)

Трехглавая мышца голени имеет очень сложную апоневротическую систему (рис. 120, вид спереди, большеберцовая кость отсутствует, видна глубокая поверхность мышцы), включающую в себя сухожилия, как берущие отсюда свое начало, так и заканчивающиеся здесь. Эта система образует дистально ахиллово сухожилие.

К сухожилиям, берущим здесь свое начало, принадлежат:

- два сухожилия внутренней 1 и наружной 2 головок икроножной мышцы, идущие от надмышечковой области диафиза бедра и занимающие латеральную часть прикрепления икроножных мышц;
- толстый сухожильный слой камбаловидной мышцы 3, идущий от большеберцовой и малоберцовой костей, два их прикрепления разделены аркадой камбаловидной мышцы; его нижняя часть имеет форму подковы с внутренним 4 и наружным 5 рогом.

К сухожилиям, заканчивающимся здесь, относятся:

- толстый общий терминальный листок 6, параллельный камбаловидной мышце и расположенный кпереди. Образует ахиллово сухожилие 7, прикрепляясь к пяточной кости 8;
- сагиттальный листок 9, перпендикулярный первому и прикрепляющийся к нему спереди. По мере того как этот листок восходит вверх между двумя рогами подковы, он истончается.

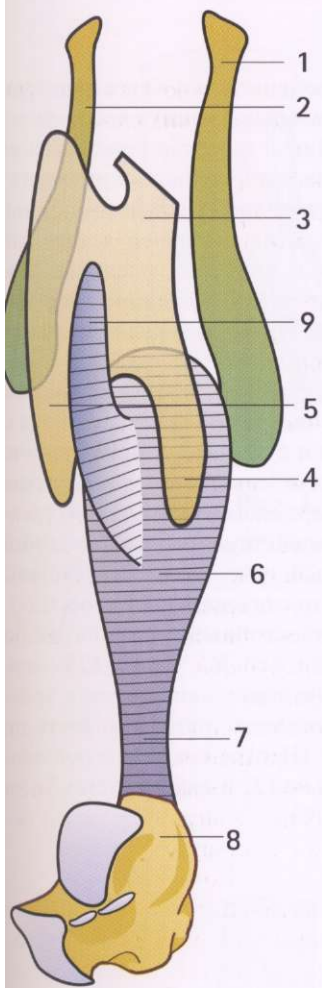
В направлении сзади кпереди можно выделить три последовательных апоневротических слоя:

- слой икроножной мышцы,
- слой общего терминального листка,
- слой сухожилия, дающего начало камбаловидной мышце, на которое наслаивается сагиттальный листок.

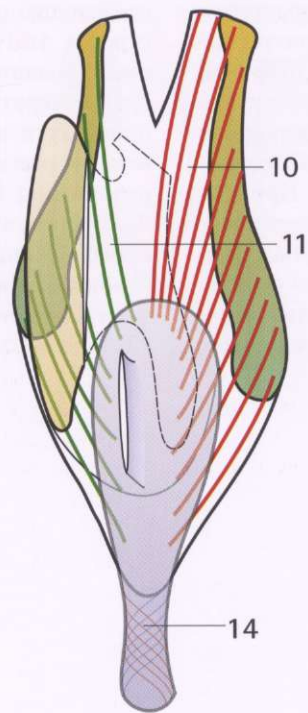
Мышечные волокна трехглавой мышцы голени расположены по отношению к апоневротическому комплексу следующим образом:

- Волокна внутренней 10 (красная) и наружной 11 (зеленая) головок икроножной мышцы (рис. 121, пространственная схема, вид спереди и изнутри, внутренняя половина камбаловидного листка удалена) берут начало от передней части сухожилий, изгибаются над мышечками бедра и продолжают кнаружи и кпереди по направлению к оси голени, прикрепляясь к задней поверхности терминального листка.
- Мышечные волокна камбаловидной мышцы (рис. 122, тот же вид, камбаловидный листок не тронут) располагаются в два слоя:
- Задний слой 12 с волокнами (темно-красные), прикрепляющимися к передней поверхности терминального листка (показана только их внутренняя часть) и в меньшей степени - к внутренней и наружной частям сагиттального листка;
- Передний слой 13 с волокнами (темно-синие), прикрепляющимися к сагиттальному листку.

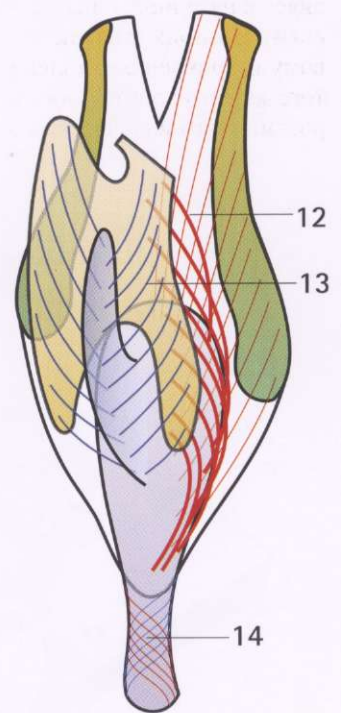
Приводимый здесь схематически рисунок показывает также спиральный ход (14, красные и синие волокна) ахиллова сухожилия, что обеспечивает его эластичность.



**Рис. 120**



**Рис. 121**



**Рис. 122**

## Трехглавая мышца голени (продолжение)

Сила ахиллова сухожилия приложена к задней поверхности пяточной кости (рис. 123) по линии, образующей тупой угол с плечом рычага **АО**. Когда эта сила **АТ** (зеленый вектор) раскладывается на два вектора, то эффективный вектор **T1** (красный вектор), перпендикулярный плечу рычага **АО**, оказывается значительно больше, чем центростремительный вектор **T2**. Поэтому данная мышца получает отчетливое механическое преимущество.

Эффективный компонент **T1** всегда больше, чем **T2**, независимо от степени сгибания или разгибания в голеностопном суставе. Это объясняется характером прикрепления сухожилия (рис. 124): оно прикрепляется к нижней части задней поверхности пяточной кости (точка **к**), а от верхней части отделяется серозной сумкой. Поэтому мышечная тяга воздействует не в точке прикрепления (**к**), а в точке контакта **а** сухожилия с задней поверхностью пяточной кости. При сгибании **I** в голеностопном суставе точка **а** лежит относительно далеко кверху на задней поверхности пяточной кости. При разогнутом **II** голеностопном суставе сухожилие отдалится от задней поверхности пяточной кости, и точка контакта **а'** лежит теперь дальше

книзу, но направление плеча рычага **А'О** все еще остается отчетливо горизонтальным, образуя *постоянный угол с осью сухожилия*. Такой характер прикрепления ахиллова сухожилия позволяет ему **«раскручиваться»** по отношению к блоковидному сегменту, образованному задней поверхностью пяточной кости. Это увеличивает эффективность трицепса голени при разгибании в голеностопном суставе. Описанная картина *напоминает прикрепление трехглавой мышцы плеча к локтевому отростку (см. I том)*.

При максимальном сокращении трехглавой мышцы голени (рис. 125) движение разгибания сочетается с **движением приведения и супинации** стопы, так что ее подошва поворачивается *кзади и кнутри* (красная стрелка **Add+Sup**). Так происходит потому, что трехглавая мышца голени воздействует на голеностопный сустав через подтаранный (рис. 126). Эти суставы приводятся в действие последовательно (рис. 127): первым разгибается голеностопный сустав на  $30^\circ$  по отношению к поперечной оси **XX'** (рис. 128, стр. 255). затем, воздействуя на подтаранный сустав, трехглавая мышца голени наклоняет пяточную кость по отношению к оси Хенке (Henke) шп таким образом, что стопа приводится **Ad** на  $13^\circ$  и супинируется **Su** на  $12^\circ$  (Biesalsky, Mayer, 1916).

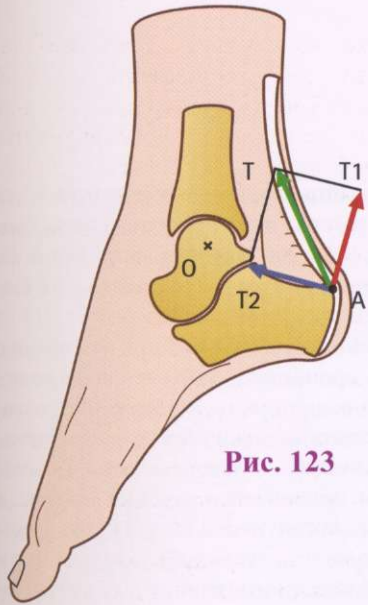


Рис. 123

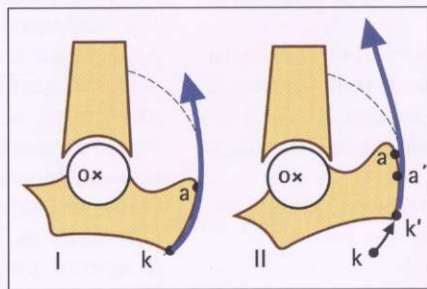


Рис. 124

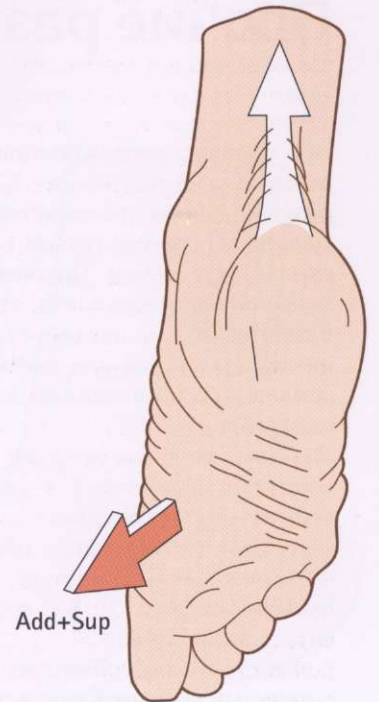


Рис. 125

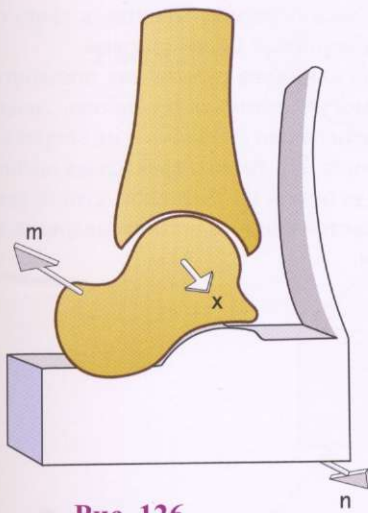


Рис. 126

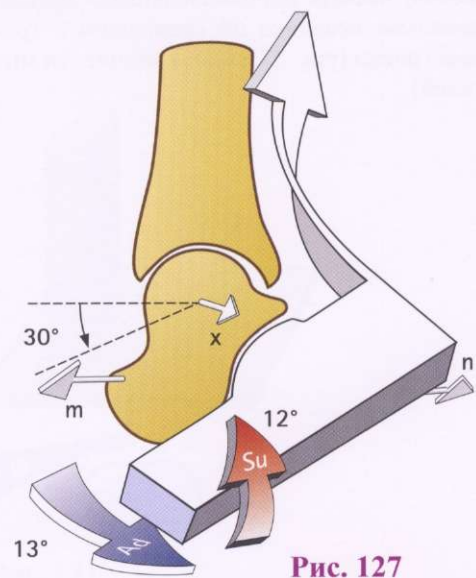


Рис. 127

## Прочие разгибатели стопы

Все мышцы, расположенные кзади от поперечной оси сгибания-разгибания XX' (рис. 128), являются **разгибателями голеностопного сустава**. Кроме трехглавой мышцы голени 1 к разгибателям относятся еще пять мышц. Подошвенная мышца (здесь не описана) настолько слаба, что ею можно пренебречь. Единственная ее значимость состоит в использовании ее сухожилия для сухожильной пластики, но, к сожалению, эта мышца не постоянна, хотя встречается часто.

**Латерально** (рис. 129, вид голеностопного сустава снаружи) **короткая 2** и **длинная 3** малоберцовые мышцы, расположенные кнаружи от оси Хенке UU' (рис. 104), одновременно обеспечивают *отведение и пронацию* (см. след. стр.).

**Медиально** (рис. 130, вид голеностопного сустава изнутри) расположены:

- задняя большеберцовая мышца **4**,
- длинный сгибатель пальцев **5**,
- длинный сгибатель большого пальца стопы **6**.

Они проходят кнутри от оси UU' (рис. 104) и поэтому одновременно обеспечивают *приведение и супинацию*.

«Чистое» разгибание может быть обусловлено только сбалансированным действием латеральных и медиальных мышц, т.е. **синергистов и антагонистов**.

Вместе с тем разгибающее действие этих мышц, которые можно назвать дополнительными экстензорами, относительно невелико по сравнению с трехглавой мышцей голени (рис. 131, схема мощности мышц разгибателей).

**Сила трехглавой мышцы голени** эквивалентна **6,5 кг** (левая чаша весов), которая суммируется из силы камбаловидной мышцы Sol и двуглавой мышцы бедра Jx, а сила всех дополнительных разгибателей вместе взятых (правая чаша весов) составляет **0,5 кг**, т.е. 1/14 от общей силы сокращения, реализуемой при разгибании. Сила мышцы прямо пропорциональна площади ее поперечного сечения и величине, на которую она сокращается. Данный показатель можно представить схематически прямоугольником, площадь основания которого равна площади поперечного сечения мышцы, а высота - величине, на которую она сократилась. Исходя из этого, нетрудно видеть, что камбаловидная мышца Sol с площадью поперечного сечения **20,2 см<sup>2</sup>** и длиной сокращения 44 мм оказывается менее мощной (**880**), чем икроножная Gas (**897**) с площадью поперечного сечения **23 см<sup>2</sup>** и длиной сокращения **39 мм**.

С другой стороны, мощность малоберцовых мышц **Fib** - длинной малоберцовой **LF** (зеленого цвета) и короткой малоберцовой **CF** (оранжевого цвета) - составляет лишь половину от общей силы дополнительных экстензоров, показанных в общем **синим цветом** АЕ. Длинная малоберцовая мышца, в свою очередь, вдвое сильнее короткой малоберцовой.

После разрыва ахиллова сухожилия дополнительные разгибатели могут *активно разгибать голеностопный сустав, если стопа свободна* и не соприкасается с площадью опоры. Но только трехглавая мышца голени позволяет вставать на цыпочки; утрата такой возможности является свидетельством **разрыва ахиллова сухожилия**.

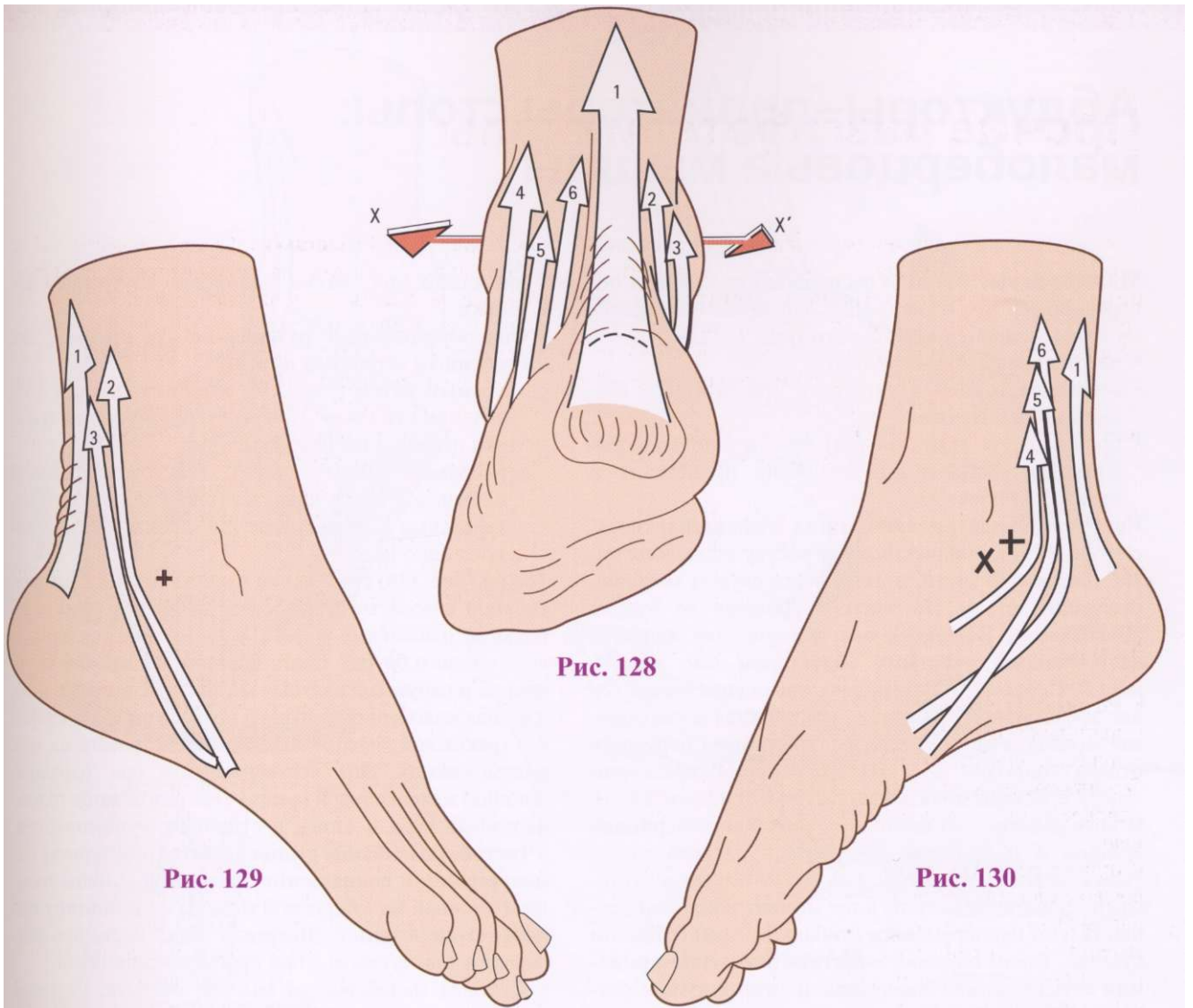


Рис. 128

Рис. 129

Рис. 130

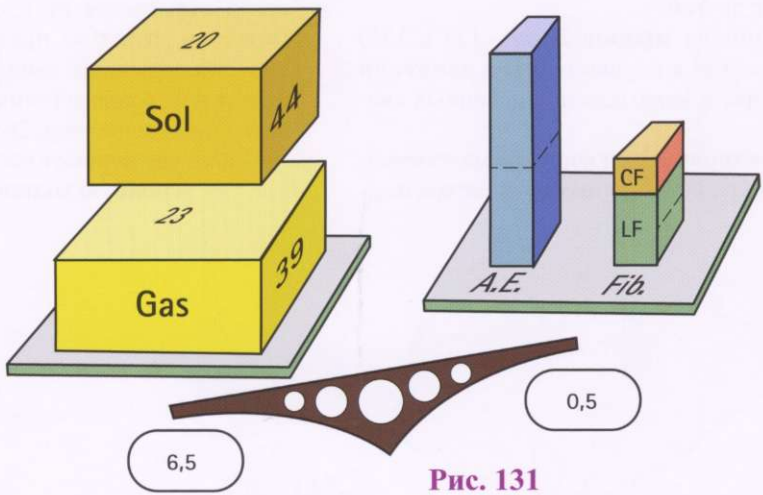


Рис. 131

# Абдукторы-пронаторы стопы: малоберцовые мышцы

**Малоберцовые мышцы** располагаются кзади от поперечной оси  $XX'$  и кнаружи от оси Хенке  $UU'$ , поэтому они одновременно вызывают (рис. 132):

- разгибание (**синяя стрелка**),
- отведение (**красная стрелка**), при этом ось  $ZZ'$  смещается кнаружи,
- пронацию (**желтая стрелка**), при этом подошва поворачивается кнаружи, движение происходит в оранжевой плоскости.

**Короткая малоберцовая мышца 1**, прикрепляющаяся (рис. 133) к шиловидному отростку основания пятой плюсневой кости, прежде всего служит мышцей, отводящей стопу. По мнению Дюшена де Булонь (Duchenne de Boulogne), она, по существу, является единственным «чистым» абдуктором (см. также рис. 100, стр. 219). Безусловно, она осуществляет более эффективное отведение, чем длинная малоберцовая мышца, а также реализует **пронацию** переднего отдела стопы (рис. 245, **красная стрелка**), приподнимая латеральные плюсневые кости (**зеленая стрелка**). В этом действии ей помогают **третья малоберцовая мышца 3** и длинный разгибатель пальцев стопы (здесь не показан), которые являются также абдукторами-пронаторами стопы в тот момент, когда они осуществляют одновременное сгибание в голеностопном суставе. Таким образом, **«чистое» отведение-пронация** есть следствие синергизма и антагонизма короткой и длинной малоберцовых мышц, с одной стороны, и короткой малоберцовой мышцы и длинного разгибателя пальцев — с другой.

**Длинная малоберцовая мышца 2** (рис. 133 и 135) играет важную роль как в осуществлении движений стопы, так и в статике и динамике подошвенных сводов.

- Она служит **абдуктором**, как и короткая малоберцовая мышца; ее сокращение приводит к латерализа-

ции стопы (рис. 137) и выстоянию внутренней лодыжки.

- Она обуславливает **разгибание** как прямым, так особенно и непрямым путем:
  - прямым путем (рис. 134, **синяя стрелка**, и 135, **зеленая стрелка**) — посредством опускания головки первой плюсневой кости,
  - непрямым путем - через тягу головки первой плюсневой кости кнаружи (рис. 135), так что латеральные и медиальные плюсневые кости образуют одно целое.

Теперь (рис. 136) **трехглавая мышца голени 4** как разгибатель воздействует непосредственно только на латеральные плюсневые кости (на схеме они показаны в виде единого бруса). Таким образом, **объединяя** внутреннюю и наружные пястные кости (**красная стрелка**), длинная малоберцовая мышца позволяет тяге со стороны трехглавой мышцы голени воздействовать на них одновременно. Это подтверждается при параличе длинной малоберцовой мышцы, где разгибается только наружный свод и стопа, в сущности, **супинируется**. **«Чистое» разгибание стопы** является результатом **одновременного сокращения** трехглавой мышцы голени и длинной малоберцовой мышцы по **принципу синергист-антагонист**: синергизм имеет место при разгибании и антагонизм - при пронации-супинации.

- Длинная малоберцовая мышца, по сути, является **пронатором** (рис. 134), поскольку опускает (**синяя стрелка**) головку первой плюсневой кости, когда стопа отрывается от плоскости опоры. Пронация (**красная стрелка**) представляет собой результат подъема наружного свода (**зеленая стрелка**) и опущения внутреннего (**синяя стрелка**).

Позже станет ясно (стр. 268), как длинная малоберцовая мышца увеличивает все три свода стопы и обеспечивает их **основную мышечную поддержку**.



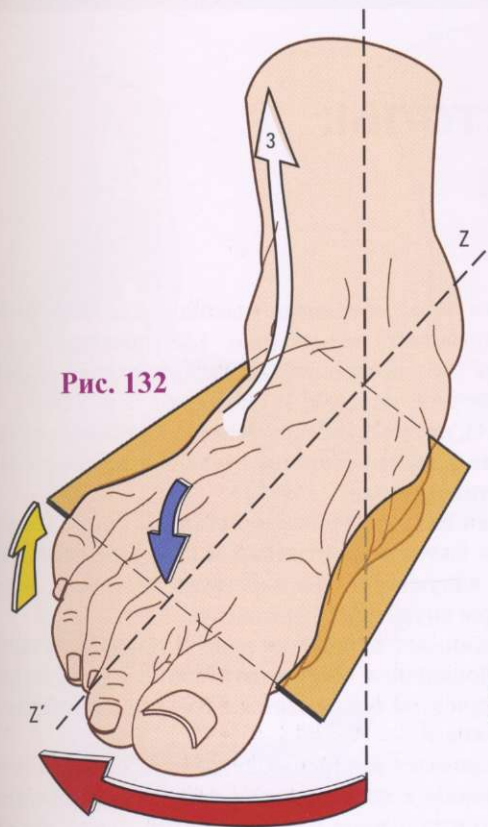


Рис. 132

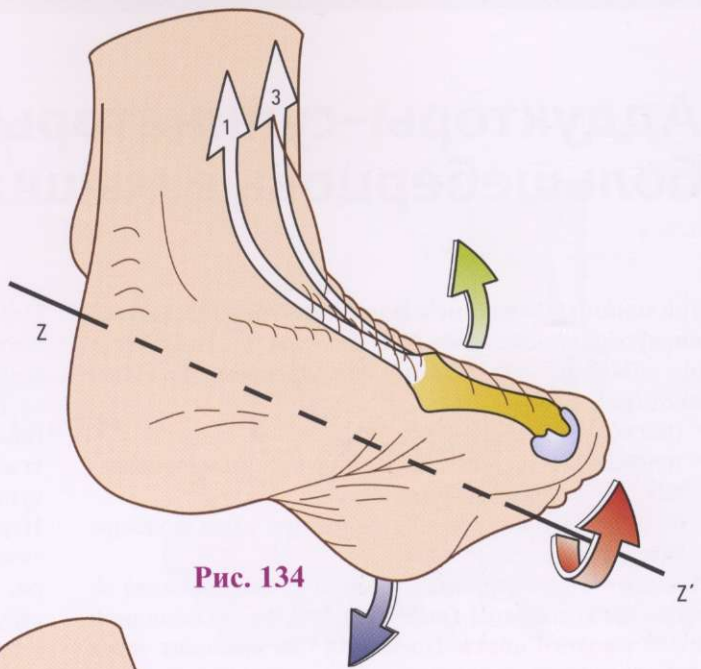


Рис. 134

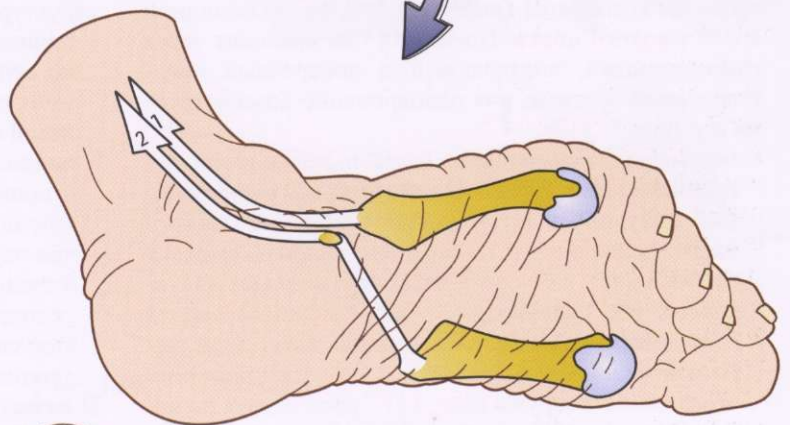


Рис. 133

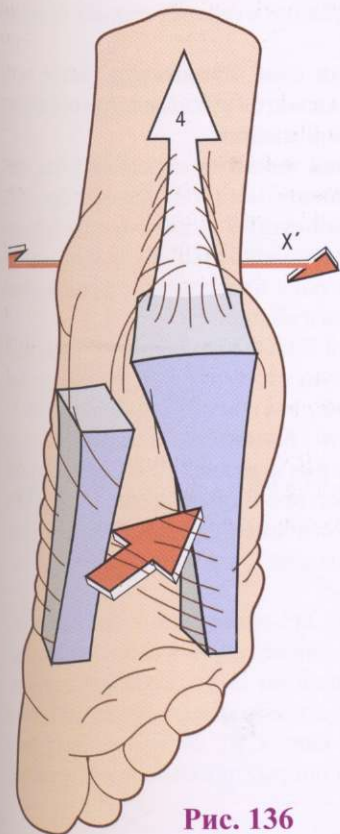


Рис. 136

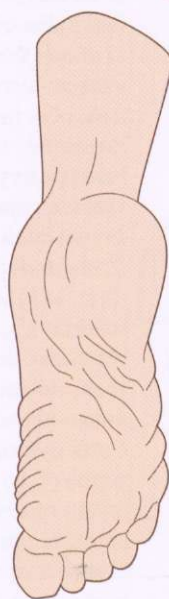


Рис. 137

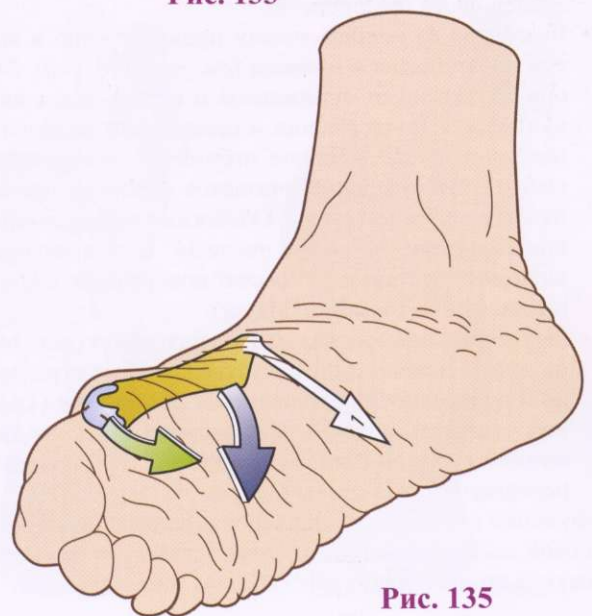


Рис. 135

# Абдукторы-супинаторы стопы большеберцовые мышцы

Три мышцы, лежащие позади от внутренней лодыжки, проходят позади оси ХХ' и кнутри от оси UU' (см. рис. 104, стр. 247), поэтому они одновременно вызывают (рис. 138):

- разгибание (**синяя стрелка**);
- приведение (**зеленая стрелка**), при этом продольная ось стопы смещается кнутри;
- супинацию (**желтая стрелка**), при этом подошва поворачивается внутрь.

**Задняя большеберцовая мышца 1**, самая важная из трех, прикрепляется (рис. 139) к бугру ладьевидной кости **желтого цвета**. Поскольку она проходит через голеностопный, подтаранный и поперечный предплюсневый суставы, она одновременно воздействует на все три:

- перемещая ладьевидную кость в медиальном направлении (рис. 140), она действует как очень мощный **абдуктор** и приводит к ротации всей задней части предплюсны и, по мнению Дюшена (Duchenne de Boulogne), в большей степени выступает абдуктором, чем супинатором. Таким образом, задняя большеберцовая мышца — прямой антагонист короткой малоберцовой мышцы 2, тянущей передний отдел стопы кнаружи (рис. 141), воздействуя на пятую плюсневую кость и вызывая обратный поворот задней части предплюсны.
- Благодаря ее подошвенному прикреплению к костям предплюсны и плюсны (см. рис. 100, стр. 245) она обеспечивает **супинацию** и играет очень важную роль в поддержании и ориентации подошвенных сводов. Врожденное отсутствие этих подошвенных прикреплений считается одной из причин плоскостопия. Общая амплитуда супинации составляет 52°, в том числе 34° за счет таранно-пяточного сустава и 15° за счет поперечного сустава предплюсны (Biesalsky, Mayer).
- Задняя большеберцовая мышца **разгибает** (рис. 142) не только голеностопный сустав (**зеленая стрелка**), но и поперечное предплюсневое сочленение (**красная стрелка**), опуская ладьевидную кость: за движением в голеностопном суставе следует движение переднего отдела стопы (см. рис. 5, стр. 179).

Функции разгибания и приведения задней большеберцовой мышце помогает длинный сгибатель большого пальца стопы и длинный сгибатель пальцев стопы.

Передняя большеберцовая мышца и длинный разгибатель большого пальца (рис. 142, показана только передняя большеберцовая мышца) проходят кпереди от поперечной оси ХХ' и кнутри от оси Хенке UU' (рис. 104), поэтому они одновременно **обеспечивают сгибание в голеностопном суставе и приведение и супинацию стопы**.

**Передняя большеберцовая мышца 3** (рис. 138) оказывается **более эффективной в качестве супинатора, чем абдуктора**. Она действует, приподнимая все структуры внутреннего свода (рис. 142):

- приподнимает основание первой плюсневой кости по отношению к внутренней клиновидной (стрелка **a**), при этом поднимается и головка первой плюсневой кости;
- приподнимает внутреннюю клиновидную кость по отношению к ладьевидной (стрелка **b**) и ладьевидную по отношению к таранной (стрелка **c**), прежде чем осуществить сгибание в голеностопном суставе (стрелка **d**);
- уплощает внутренний свод, **супинируя** стопу, и в этой своей функции является прямым антагонистом длинной малоберцовой мышцы.

В качестве **приводящей мышцы** передняя большеберцовая оказывается менее мощной, чем задняя: она **сгибает голеностопный сустав** и, вместе с ее синергистом-антагонистом - задней большеберцовой мышцей, обеспечивает «чистые» приведение и супинацию стопы без сгибания и разгибания.

**Контрактура** передней большеберцовой мышцы вызывает таранно-варусную стопу со сгибательной деформацией пальцев (рис. 144), особенно большого.

**Длинный разгибатель большого пальца стопы** (рис. 143) уступает по силе передней большеберцовой мышце в качестве абдуктора и супинатора. Он может заменять ее в качестве сгибателя голеностопного сустава, но это часто приводит к клешнеобразной установке первого пальца.

Сила супинаторов (2,82 кг) превосходит силу пронаторов (1,16 кг), поэтому на весу стопа спонтанно принимает положение супинации. Этот дисбаланс профилактически компенсирует естественную тенденцию стопы к пронации (см. стр. 270), когда она, будучи в контакте с плоскостью опоры, принимает вес тела на себя.

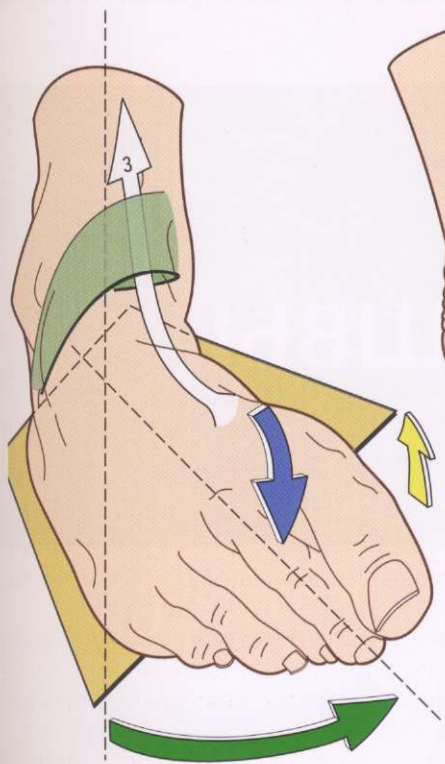


Рис. 138



Рис. 144

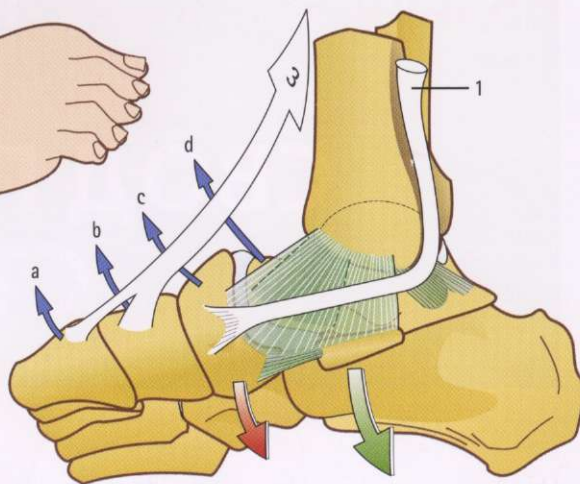


Рис. 142

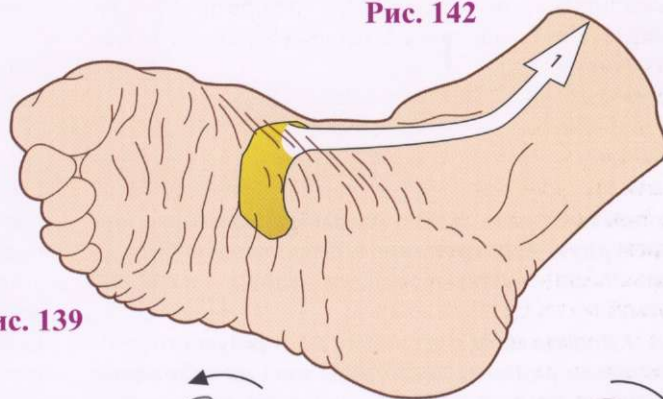


Рис. 139

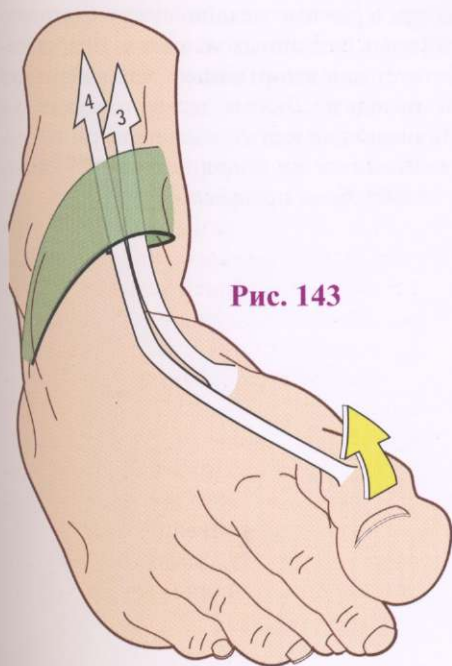


Рис. 143

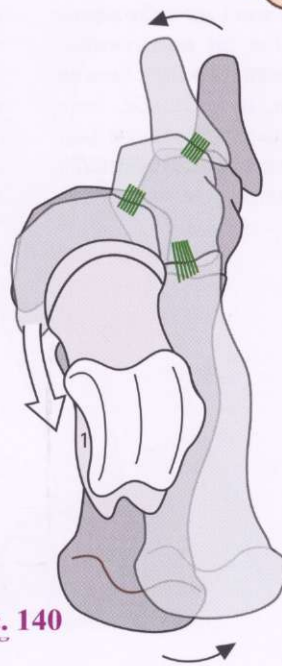


Рис. 140

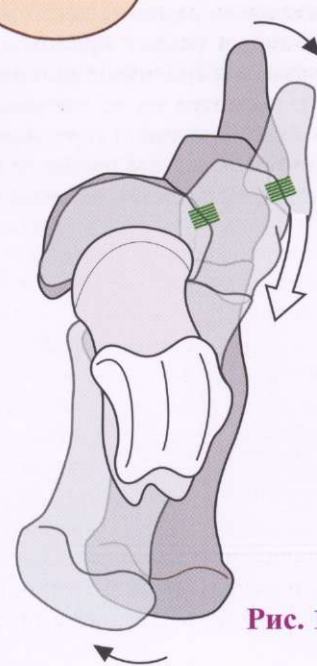


Рис. 141

## Глава 5

# СВОД ПОДОШВЫ СТОПЫ

Подошвенный свод можно охарактеризовать как **архитектурную конструкцию**, объединяющую все элементы стопы - суставы, связки и мышцы - в единую систему.

Свод подошвы схож с ладонью, но в результате эволюционного развития свод стопы взял на себя новые функции: в рамках прямохождения он **наилучшим образом перераспределяет вес тела** на опору (земля, пол), несмотря на ее неровности, при ходьбе, беге, прыжках, подъеме в гору, лазанию по деревьям (что было так важно для наших далеких предков обезьян). Благодаря способности свода изменять величину дуг

и его эластичности, стопа приспособливается к неровностям плоскости опоры и передает на нее силы, создаваемые *весом тела* и его движениями (можно задать вопросом: а как изменилась бы стопа в условиях силы притяжения Луны или Юпитера?). Эти функции выполняются в режиме механического благоприятствования в самых различных условиях. Подошвенный свод действует **как амортизатор, что важно для пружинящей походки**. Любые патологические состояния, увеличивающие или уплощающие своды, существенно сказываются на опорной функции стопы при стоянии, ходьбе, беге, прыжках.



# Общая архитектура подошвенного свода

В целом подошвенный свод можно сравнить с **архитектурным сводом, поддерживаемым тремя арками**. Такой свод был создан архитекторами и инженерами (рис. 1, павильон CNIT в квартале Дэфанс, Париж): он опирается на землю в **трех точках** А, В и С (рис. 2), расположенных по углам *равнобедренного треугольника*. Между каждыми двумя точками опоры АВ, ВС и СА находится арка, представляющая собой *одну из сторон свода*. Вес свода (рис. 3, классический свод) сконцентрирован в **«краеугольном камне» стрелка** и передается на опоры А и В (известные как опорные столпы арки) через два устоя.

Разделяя точку зрения, высказанную Лapidусом (Lapidus), некоторые ученые критикуют идею свода. Так, Де Донкер и Ковальски (De Doncker, Kowalski) считают подобную точку зрения на подошвенный свод слишком статичной и утверждают (не без оснований), что боковые и передние арки являются плодом нашего воображения. Они предпочитают сравнивать стопу со стропильной конструкцией (рис. 4, стропильная конструкция), состоящей из **двух стропил** SA и SB, соединенных наверху S и удерживаемых **распоркой** АВ, не дающей треугольнику развалиться при воздействии веса на его верхнюю точку. С этих позиций стопа представляет собой *единичную стропильную конструкцию, основной связующей распоркой* которой служат мощные подошвенные связки и мышцы, а *дополнительные боковые распорки* структуры соответствуют классическим дугам - внутренней и наружной. Эта концепция стопы ближе к анатомической реальности, особенно в отношении связок и мышц, которые действительно выполняют связующую функцию, и их на самом деле можно сравнить с распорками. Однако термины «свод» и «арки» столь выразительны и при-

вычны, что трудно отказаться от их использования наряду с такими понятиями, как «стропильная конструкция» и «связующие распорки». Как это часто случается в биомеханике, *два представления, которые поначалу кажутся взаимоисключающими, в конечном счете дополняют друг друга, обеспечивая более глубокое понимание сути дела*. Поэтому мы будем продолжать использовать понятия «подошвенный свод» и «арки».

**Подошвенный свод** (рис. 5, вид изнутри, структуры стопы изображены прозрачными) образует не равнобедренный треугольник, а нечто сходное с ним и несимметричное, поскольку здесь имеются **три арки** и **три опоры**. Опоры (рис. 6, вид сверху, структуры стопы прозрачны) лежат в зоне контакта с землей или в пределах **отпечатка стопы (зеленого цвета)**. Они представлены головкой первой плюсневой кости А, головкой пятой плюсневой кости В и буграми пяточной ости С. Каждую опору делят между собой две соседних арки.

Между двумя **передними опорами** А и В простирается **передняя арка**, самая короткая и самая низкая из всех. Между двумя **наружными опорами** В и С находится **наружная арка**, средняя по длине и высоте. И, наконец, между двумя **внутренними опорами** С и А расположена **внутренняя арка**, самая длинная и высокая, а также самая важная из всех в плане осуществления опорной функции и ходьбы.

Поэтому форма подошвенного свода (нижняя часть рис. 5) напоминает парус-фок, *наполненный ветром*. Его верх отчетливо смещен кзади, и вес тела (**зеленая стрелка**) воздействует на задний склон (**красная стрелка**) в точке (**черный крестик** на рис. 6), расположенной в **центре подъема**.

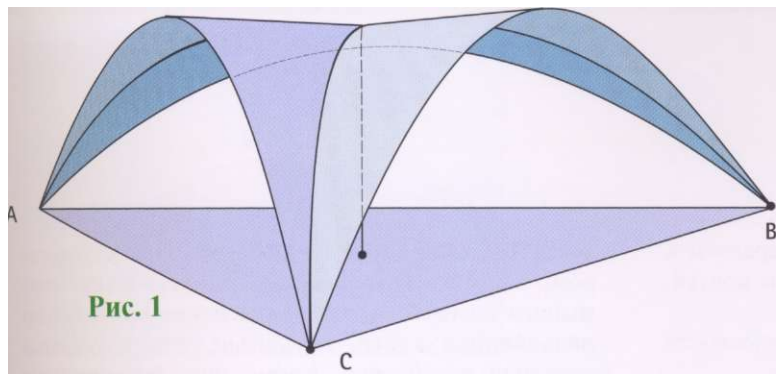


Рис. 1

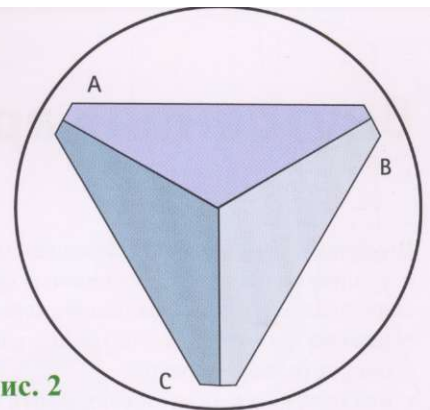


Рис. 2

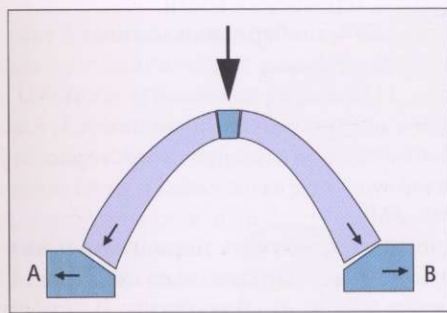


Рис. 3

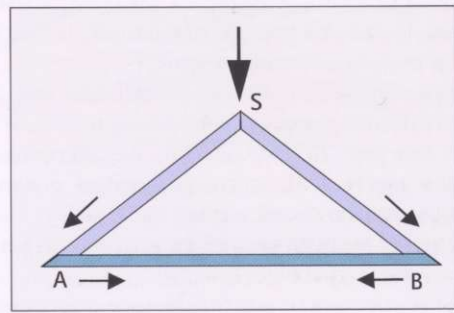


Рис. 4

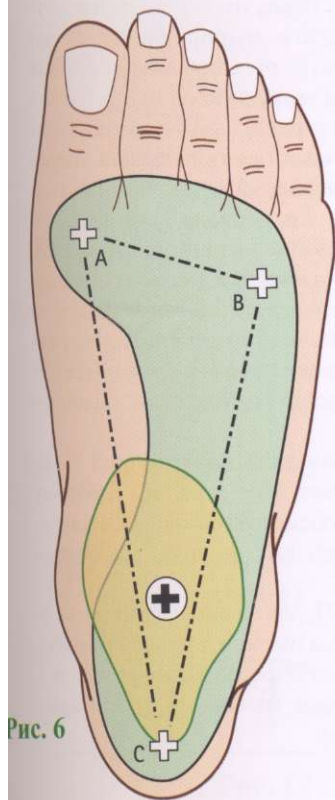


Рис. 6

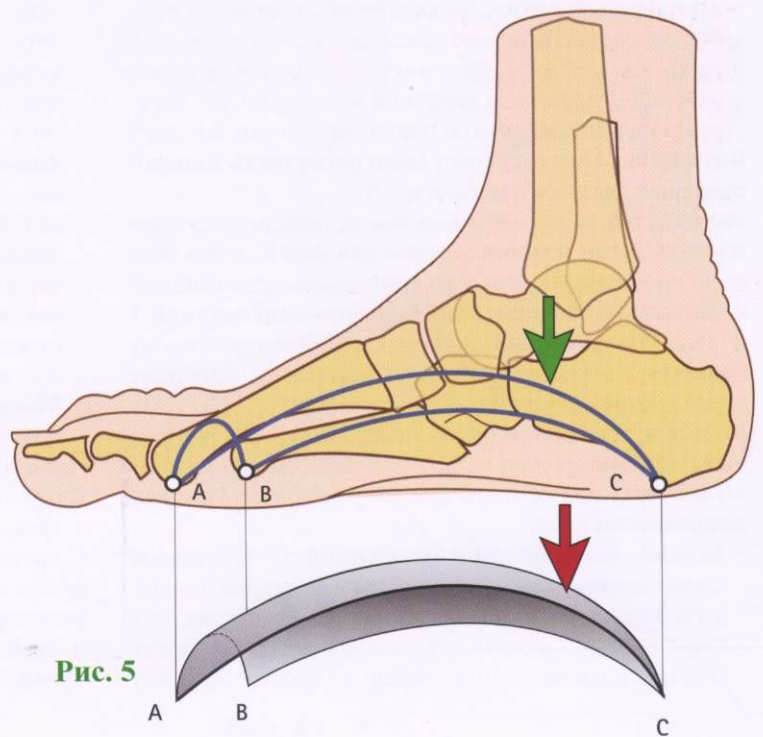


Рис. 5

# Внутренняя арка

Внутренняя арка (рис. 7), лежащая между передней А и задней С опорами, включает в себя **пять костей**. Перечислим их в направлении спереди назад:

- **первая плюсневая кость МI** касается плоскости опоры только головкой;
- **внутренняя клиновидная кость СI** вообще не соприкасается с плоскостью опоры;
- **ладьевидная кость S** является краугольным камнем арки (показана синей трапецией) и лежит на 15-18 см выше плоскости опоры;
- **таранная кость Tal**, воспринимающая все силы, воздействующие через нижнюю конечность, и передающая (см. рис. 15, стр. 207) их на свод стопы;
- **пяточная кость Cal**, контактирующая с плоскостью опоры только своей задней частью.

**Распределение механических сил** отражено в расположении костных трабекул (рис. 8).

- Трабекулы, идущие от кортикального слоя передней поверхности большеберцовой кости, ориентированы наклонно книзу и кзади, проходя через **задний устой арки**. Они идут через тело таранной кости и расходятся веером в пяточной кости, достигая задней опоры арки.
- Трабекулы, идущие от заднего кортикального слоя большеберцовой кости, проходят косо книзу и кпереди, пересекают шейку и головку таранной кости, ладьевидную кость и передний устой арки, т.е. внутреннюю клиновидную и плюсневую кости.

Внутренняя арка сохраняет свою **вогнутость** только с помощью связок и мышц (рис. 7).

Пять костей, перечисленных выше, объединены многочисленными **подошвенными связками**, в том числе клиновидно-плюсневой, клиновидно-ладьевидной и особенно — **подошвенной пяточно-ладьевидной 1** и **таранно-пяточной 2**. Связки противодействуют сильным, но кратковременным нагрузкам, а мышцы справляются с постоянными нагрузками.

**Мышцы** соединяют точки, лежащие на арке на разных расстояниях друг от друга, и тем самым напрягают всю арку или ее часть. Поэтому они действуют как **напрягатели арок**.

- **Задняя большеберцовая мышца 4** *напрягает часть внутренней арки* (рис. 10) у ее купола, но при этом играет очень важную роль. По существу, она тянет (рис. 9, **красная стрелка**) ладьевидную кость S книзу и кзади по отношению к головке таранной

кости Tal, следуя по кругу, обозначенному пунктиром. Сравнительно небольшое укорочение этой мышцы е влечет за собой **изменение ориентации ладьевидной кости**, вследствие чего опускается передний устой арки. Кроме того, подошвенные прикрепления этой мышцы (3, рис. 7) сливаются с подошвенными связками и воздействуют на три средних плюсневых кости.

- **Длинная малоберцовая мышца 5** также влияет на внутреннюю арку и увеличивает ее высоту, сгибая (рис. 11) первую плюсневую кость МI по отношению к внутренней клиновидной СI, а последнюю - по отношению к ладьевидной S (рис. 9) (см. также далее описание ее воздействия на поперечную дугу, стр. 269).
- **Длинный сгибатель первого пальца 6** *охватывает почти всю внутреннюю арку* (рис. 12) и существенно влияет на ее кривизну. В этом ему помогает **длинный сгибатель пальцев стопы 7**, пересекающий арку снизу (рис. 13). Кроме того, длинный сгибатель первого пальца *стабилизирует таранную* и пяточную кости. Проходя между двумя буграми таранной кости, эта мышца не позволяет (рис. 14) таранной кости отходить кзади (**белая стрелка**). Под напором ладьевидной кости (**белая стрелка**) натягивается таранно-пяточная межкостная связка 2, и таранная кость возвращается кпереди в ее исходное положение сухожилием, подталкивающим ее кпереди, *как тетива лука толкает стрелу*. Проходя ниже sustentaculum tali (рис. 15), сухожилие длинного сгибателя первого пальца, действуя подобным же образом, *вновь поднимает переднюю половину пяточной кости* (черная стрелка), воспринимающую вертикальную силу (белая стрелка), передаваемую через головку таранной кости.

- **Мышца, отводящая большой палец стопы 8**, *напрягает всю внутреннюю арку* (рис. 16). Поэтому эта мышца является особенно эффективным напрягателем: она увеличивает высоту арки, сближая ее края.

С другой стороны (рис. 17), две мышцы, прикрепляющиеся к выпуклости арки, а именно длинный разгибатель первого пальца **9** - при определенных условиях - и передняя большеберцовая мышца 10, уменьшают кривизну и уплощают арку.



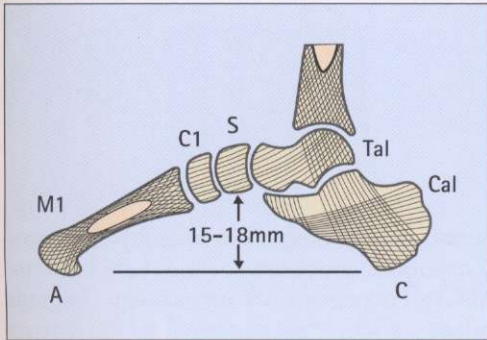


Рис. 8

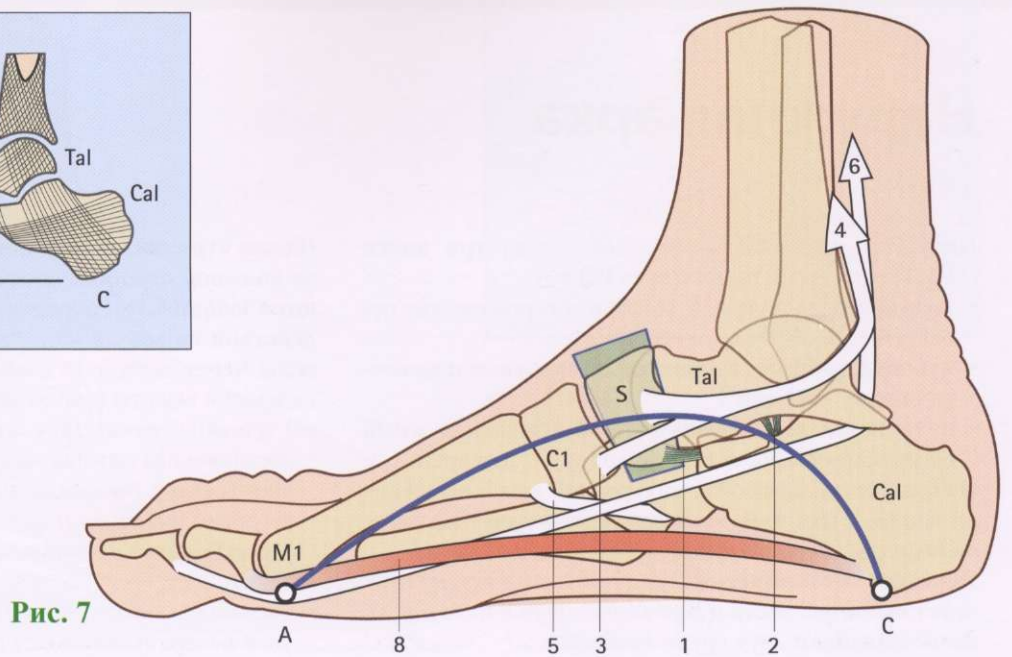


Рис. 7

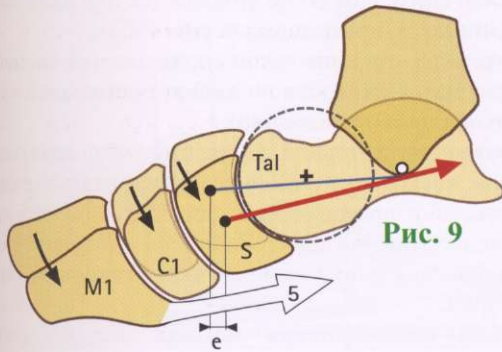


Рис. 9

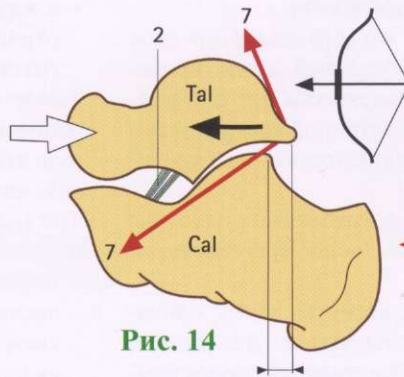


Рис. 14

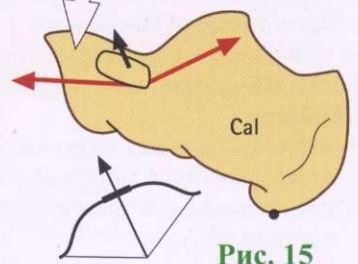


Рис. 15

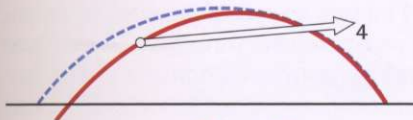


Рис. 10

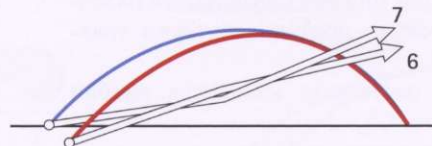


Рис. 13

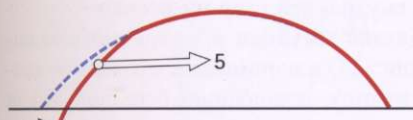


Рис. 11

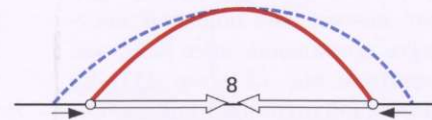


Рис. 16

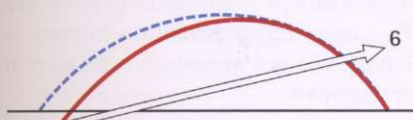


Рис. 12

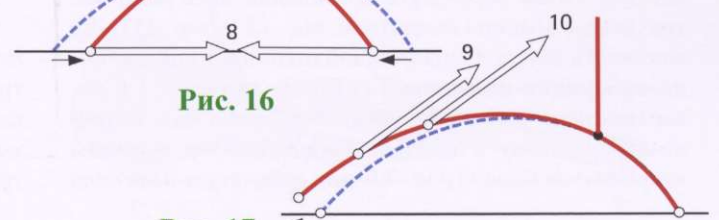


Рис. 17

# Наружная арка

Наружная арка включает в себя только **три кости** (рис. 18, вид на наружную арку сбоку):

- **пятую плюсневую M5**, головка которой служит передней опорой **B** наружной арки;
- **кубовидную Cub**, вообще не касающуюся плоскости опоры;
- **пяточную Cal**, задневнутренний и задненаружный бугры которой обеспечивают опору **C** для арки.

По сравнению с высокой внутренней аркой наружная *низкая* (3—5 мм) и *осуществляет контакт с плоскостью опоры через выступающие ее мягкие ткани.*

**Передача механических сил** (рис. 19) происходит через таранную кость и лежащую под ней пяточную с использованием двух групп трабекул:

- **задние трабекулы** идут от кортикального слоя передней поверхности большеберцовой кости и расходятся веером по телу пяточной кости,
- **передние трабекулы** идут от кортикального слоя задней поверхности большеберцовой кости, проходят через головку таранной кости там, где она опирается на большой отросток пяточной кости, а затем через кубовидную и пятую плюсневую кости достигают передней опоры арки.

В дополнение к этим костным трабекулам пяточная кость имеет **две собственные основные системы трабекул:**

- **верхняя арочная система**, вогнутая книзу, сливается в плотные пластинки на уровне дна пазухи предплюсны; эти трабекулы противодействуют компрессии;
- **нижняя арочная система**, вогнутая сверху, сходится у кортикального слоя нижней поверхности пяточной кости; эти трабекулы противодействуют тракции.

Между этими двумя системами находится **слабая точка +**.

Внутренняя арка очень эластична благодаря подвижности таранной кости по отношению к пяточной, а наружная арка обладает значительно большей жесткостью, чтобы передавать подталкивающее действие трехглавой мышцы голени (*см. рис. 127, стр. 253*). Ее жесткость обусловлена мощной  **подошвенной пяточно-кубовидно-плюсневой связкой**, глубокие **4** и поверхностные **5** волокна которой не позволяют пяточно-кубовидному и кубовидно-плюсневому суставам открываться книзу (рис. 20) под действием веса тела

(**белая стрелка**). Краеугольным камнем арки является большой отросток пяточной кости **D**, где встречаются задний **CD** и передний **BD** устои арки. При воздействии на арку достаточно большой вертикальной силы через таранную кость (например, прыжок или падение с высоты с приземлением на стопы) возможны три типа травмы (рис. 21):

- подошвенная пяточно-кубовидная связка сопротивляется удару, но арка не выдерживает на уровне краеугольного камня, и большой отросток ломается по вертикальной линии, проходящей через слабую точку;
- **таранная кость вколачивается** в пяточную, так что угол Белера (Boehler) **PTD**, обычно тупой (рис. 20), открытый книзу, еще более уплощается или даже переворачивается, превращаясь в угол **PT'D**;
- с внутренней стороны часто отламывается малый отросток пяточной кости по линии, проходящей сагиттально (здесь не показано).

Такие переломы пяточной кости трудно поддаются репозиции, поскольку нужно не только поднять таранную кость, но и поставить на место большой отросток, иначе внутренняя арка остается обвалившейся. Три мышцы служат активными напрягателями наружной арки:

- **короткая малоберцовая мышца 1** *напрягает часть арки* (рис. 22), но, как и пяточно-кубовидная связка, она не позволяет суставам стопы открываться книзу (рис. 23);
- **длинная малоберцовая мышца 2** проходит параллельно первой **1** вплоть до кубовидной кости и играет идентичную роль; помимо того (рис. 24, пяточная кость не касается опоры), прикрепляясь к малоберцовому бугру пяточной кости **6**, благодаря собственной эластичности она подтягивает кверху ее передний конец, как это делает длинный сгибатель первого пальца на внутренней стороне стопы;
- **мышца, отводящая мизинец 3**, напрягает всю наружную арку (рис. 25) и напоминает в этом отношении действие мышцы, отводящую большой палец стопы.

Воздействуя на *выпуклость наружной арки* (рис. 26) третья малоберцовая мышца **7** и длинный разгибатель пальцев стопы **8** - при определенных условиях - уменьшают ее высоту. То же действие оказывает и трехглавая мышца голени **9**.

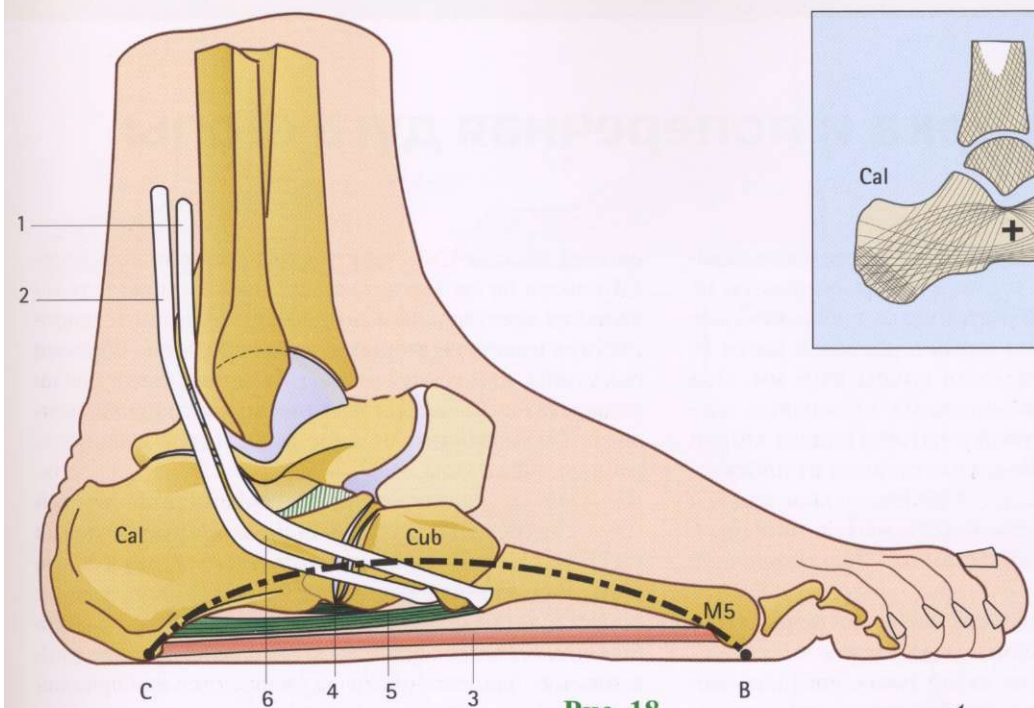


Рис. 18

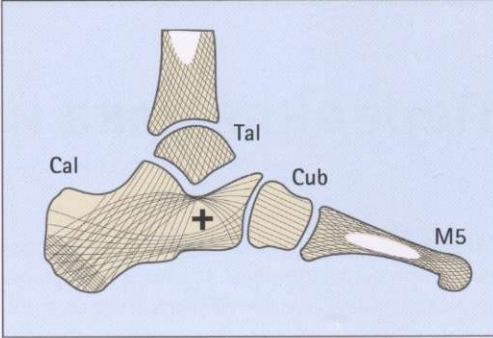


Рис. 19

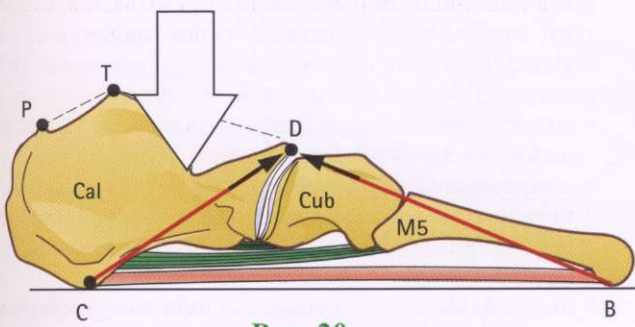


Рис. 20

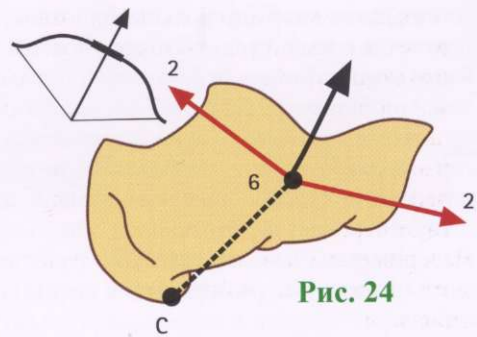


Рис. 24

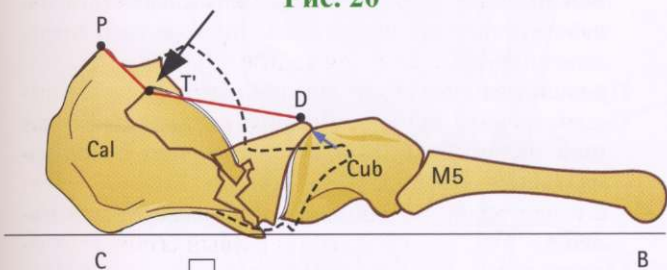


Рис. 21

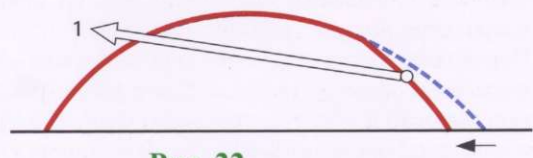


Рис. 22

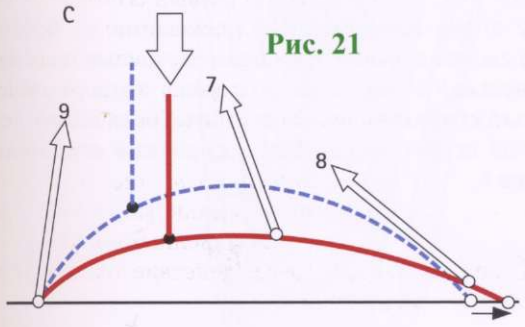


Рис. 26

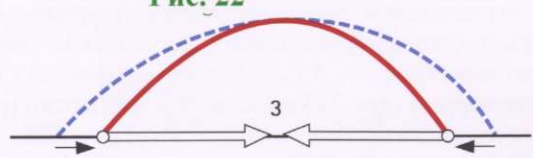


Рис. 25

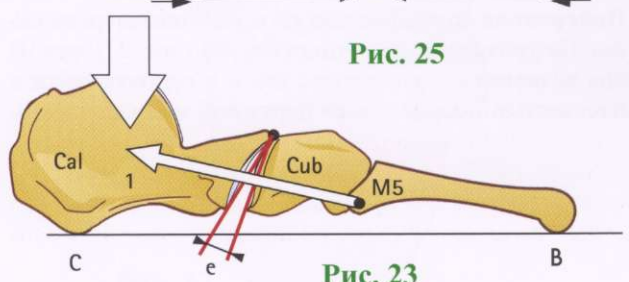


Рис. 23

# Передняя арка и поперечная дуга стопы

**Передняя арка** (рис. 27, срез I) простирается от головки первой плюсневой кости, которая опирается на две сесамовидные кости и отстоит от плоскости опоры на 6 мм А, до головки пятой плюсневой кости В, также отстоящей от плоскости опоры на 6 мм. Она проходит через головки остальных плюсневых костей, лежащих между первой и пятой. Головка второй плюсневой кости, дальше всех отстоящая от плоскости опоры (на 9 мм), является *краеугольным камнем* этой арки. Головки третьей (8.5 мм) и четвертой (7 мм) плюсневых костей занимают промежуточное положение.

**Вогнутость** передней арки сравнительно невысока, и арка соприкасается с плоскостью опоры выстилающими ее снизу мягкими тканями; данную область часто называют «**передней пяткой**» стопы. Эта арка напрягается с подошвенной стороны относительно слабыми межплюсневыми связками и только одной мышцей - поперечной головкой аддуктора первого пальца 1. Некоторые ее волокна напрягают всю арку, другие - только ее часть, направляясь от головки первой плюсневой кости к головкам каждой из остальных плюсневых костей. Это мышца довольно слабая и не выдерживает больших нагрузок. Арка часто *уплощается (плоский передний отдел стопы)* или даже *выгибается в обратном направлении (выпуклый книзу передний отдел стопы)*. Тогда на подошве под опущенными головками плюсневых костей появляются натоптыши (см. рис. 89 и 90, стр. 289).

Передняя арка является местом *объединения всех пяти плюсневых звеньев стопы*. Первое звено (рис. 29) самое высокое и образует (согласно Фику (Fick)) угол с плоскостью опоры в 18-25°. Далее величина угла между следующей плюсневой костью и плоскостью опоры постепенно уменьшается, составляя 15° для второго звена (рис. 30), 10°-для третьего (рис. 31), 8°-для четвертого (рис. 32) и только 5° - для пятого (рис. 33), которое почти параллельно плоскости опоры.

**Поперечная арка** проходит по всей стопе спереди назад. На уровне **клиновидных костей** (рис. 27, срез II) она включает только четыре кости и соприкасается с плоскостью опоры только наружной частью - кубо-

видной костью Cub. Внутренняя клиновидная кость С1 совсем не касается пола; средняя клиновидная С2 является *краеугольным камнем* арки (светло-зеленого цвета) и вместе со второй плюсневой костью образует ось стопы, или *конек свода*. Этот сектор свода поддерживается сухожилием длинной малоберцовой мышцы 2, оказывающим мощное воздействие и на поперечную дугу стопы.

На уровне **ладьевидной и кубовидной костей** (рис. 27, срез III) поперечная арка опирается только на свою наружную оконечность - кубовидную кость Cub. Ладьевидная кость Sea не касается плоскости опоры и нависает над внутренней поверхностью кубовидной. Высота этой арки контролируется подошвенными растяжениями задней большеберцовой мышцы 3.

Вид левой стопы со стороны подошвы (рис. 28, структуры изображены прозрачными) показывает, *как поперечная арка поддерживается тремя мышцами* (перечислены от передней к задней):

- **мышца, приводящая первый палец стопы 1**, идущая в поперечном направлении;
- **длинная малоберцовая мышца 2**, самая важная с позиций динамики и напрягающая арку; она идет косо кпереди и кнутри и *оказывает влияние на все три арки стопы*;
- **подошвенное растяжение задней большеберцовой мышцы 3**, особенно важное в плане статики и действующее как напрягатель, проходя косо кпереди и кнаружи.

**Продольная дуга** стопы в целом контролируется:

- с внутренней стороны **мышцей, отводящей большой палец 4**, и **длинным сгибателем большого пальца** (не показан),
- а с наружной - **мышцей, отводящей пятый палец 5**.

Между этими напрягателями, лежащими по бокам, высоту свода на уровне трех промежуточных плюсневых звеньев, а также пятого звена поддерживают **длинный сгибатель пальцев стопы** (не показан), **добавочный сгибатель пальцев** и **короткий сгибатель пальцев 6**.

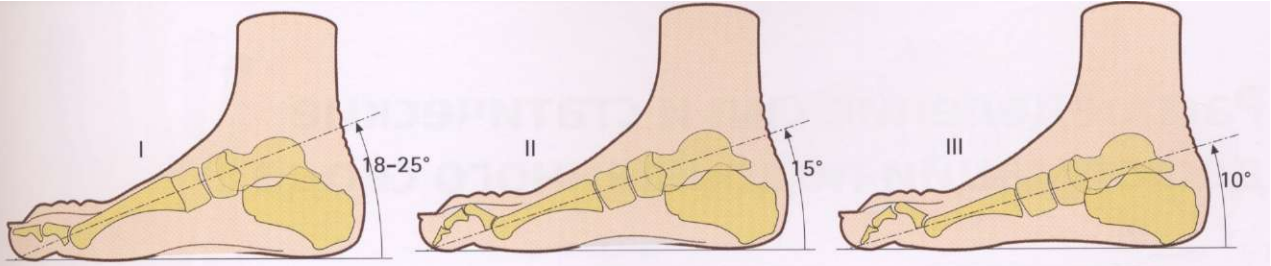


Рис. 29

Рис. 30

Рис. 31

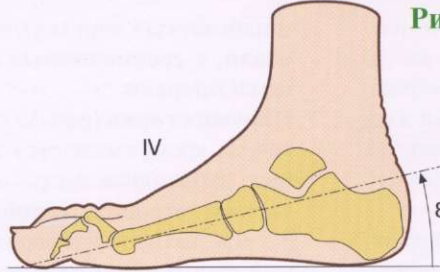


Рис. 32

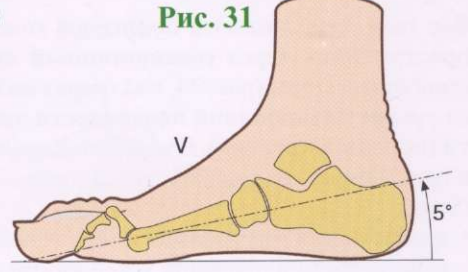


Рис. 33

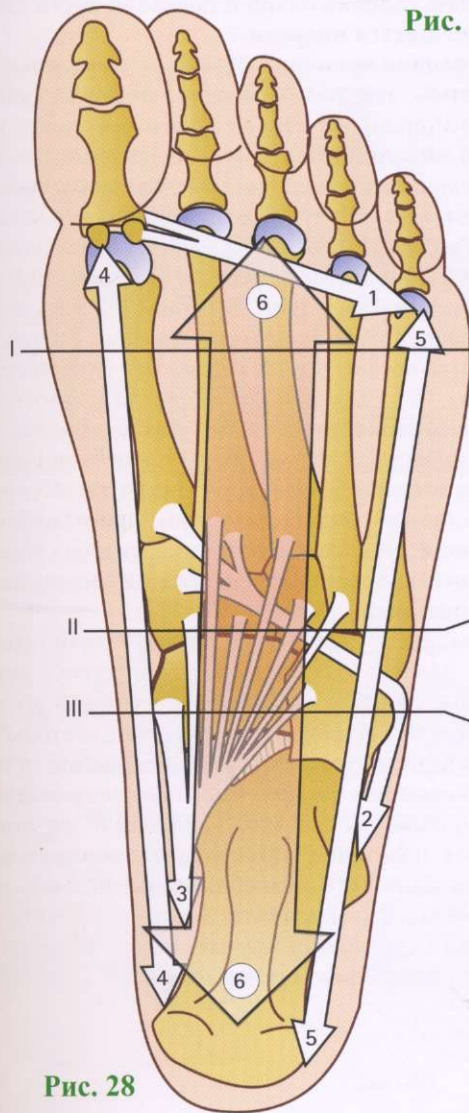


Рис. 28

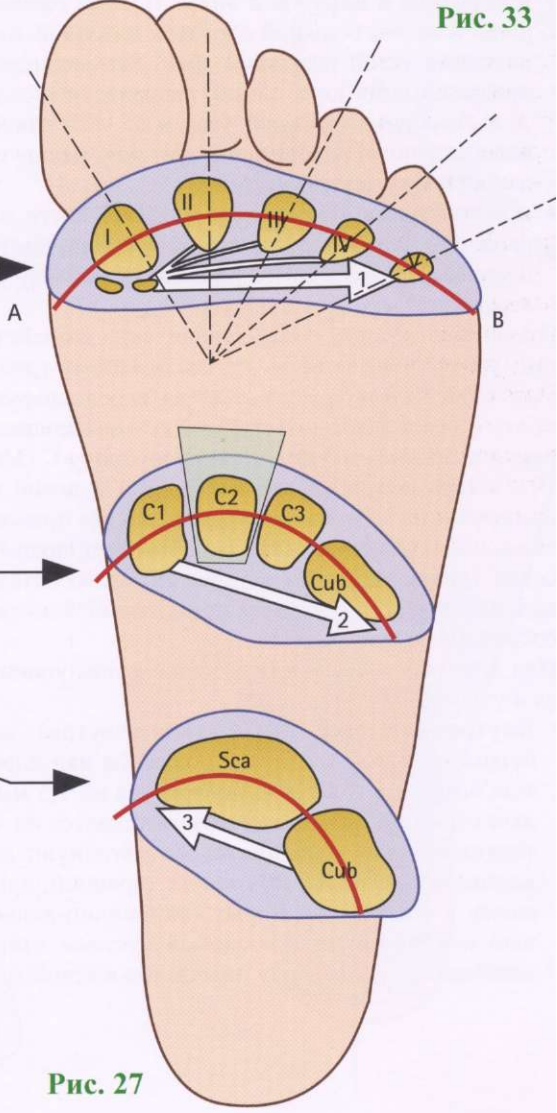


Рис. 27

# Распределение сил и статические деформации подошвенного свода

Вес тела, передаваемый по нижней конечности, распространяется через голеностопный сустав на задний отдел стопы (рис. 34, вид сверху на кости стопы) на уровне блоковидной поверхности таранной кости (красный крестик). Отсюда силы распределяются в трех направлениях к опорным точкам свода (Сейтц (Seitz), 1901):

- к передней и внутренней опоре А через шейку таранной кости и передний устой внутренней арки;
- к передней и наружной опоре В через головку таранной кости, большой отросток пяточной кости и передний устой наружной арки. Расходящееся направление этих двух линий, направленных в точки А и В, образует острый угол в 35-40°, открытый кпереди, что точно соответствует углу между осями шейки и тела таранной кости;
- к задней опоре С через тело таранной кости, подтаранный сустав и тело пяточной кости по подтаранному вееру трабекул, т.е. по общему заднему устою внутренней и наружной арки.

Пропорциональное соотношение сил, действующих на каждую из опор, легко запомнить (рис. 35). При воздействии груза в 6 кг на передненаружную опору В будет приходиться 1 кг, 2 кг - на передневнутреннюю опору А и 3 кг - на заднюю опору С (Morton, 1935). При вертикальном положении в покое пятка принимает на себя «главный удар», на нее приходится около половины веса тела. Это объясняет, почему высокие тонкие каблуки («шпильки») легко оставляют вмятины в линолеуме - весь проходящий на них вес сосредоточен на 0,5 см<sup>2</sup>.

Под действием веса тела все арки стопы уплощаются и удлиняются.

- **Внутренняя арка** (рис. 36, вид изнутри): задние бугры пяточной кости, приподнятые над плоскостью опоры на 7-10 мм, опускаются на 1,5 мм, малый отросток пяточной кости опускается на 4 мм; таранная кость надвигается на пяточную; ладьевидная поднимается по головке таранной, приближаясь к плоскости опоры; клиновидно-ладьевидный и клиновидно-плюсневый суставы открываются книзу; угол между первой плюсневой костью

и плоскостью опоры уменьшается; пятка отходит кзади, а сесамовидные кости слегка перемещаются кпереди.

- **Наружная арка** (рис. 37): подобным же образом пяточная кость смещается в вертикальном направлении; кубовидная кость опускается на 4 мм, шиловидный отросток пятой плюсневой кости - на 3,5 мм; пяточно-кубовидный и кубовидно-плюсневый суставы открываются книзу; пятка отступает кзади, головка пятой плюсневой кости слегка перемещается кпереди.
- **Передняя арка** (рис. 38, срез на уровне плюсневых костей): эта арка уплощается и расплывается по обе стороны от второй плюсневой кости; расстояние между первой и второй плюсневыми костями увеличивается на 5 мм, между второй и третьей - на 2 мм, между третьей и четвертой - на 4 мм и между четвертой и пятой - на 1,5 мм. Таким образом, **передний отдел стопы расширяется на 12,5 мм** под действием веса тела. В переднюю фазу шага дуга передней арки исчезает и головки всех плюсневых костей касаются пола вследствие различного давления.
- **Поперечная дуга** также уменьшается на уровне клиновидных костей (рис. 39, срез через клиновидные кости) и ладьевидной кости (рис. 40, срез ладьевидно-кубовидного сустава), при этом обе поперечные дуги наклоняются кнаружи под углом  $\alpha$ , который пропорционален степени уплощения внутренней арки.

Кроме того, головка таранной кости смещается (рис. 41, вид спереди на правую стопу) кнутри на 2-6 мм, а большой отросток пяточной кости - на 2-4 мм. Это приводит к **скручиванию стопы в среднем предплюсневом суставе**: ось заднего отдела стопы смещается кнутри, а ось переднего отдела - кнаружи, образуя с ней угол  $\gamma$ . Задний отдел стопы принимает положение **приведения-пронации** (стрелка 1) и **небольшого разгибания**, а передний отдел по сравнению с ним приходит в положение **сгибания-отведения-супинации** (стрелка 2). Это особенно заметно при **плосковальгусной стопе** (см. стр. 284).

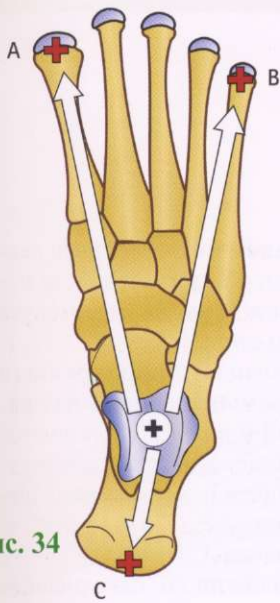


Рис. 34

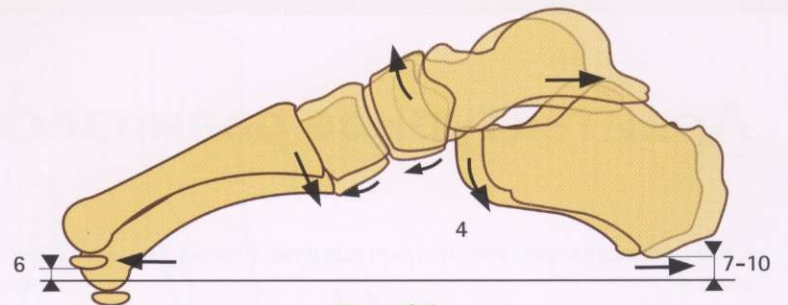


Рис. 36

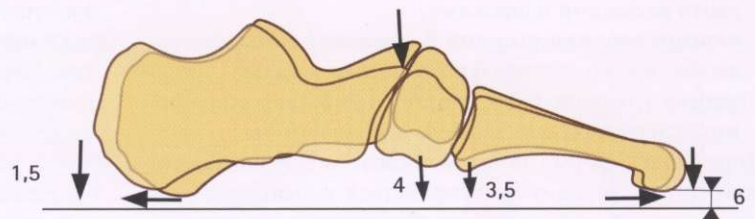


Рис. 37

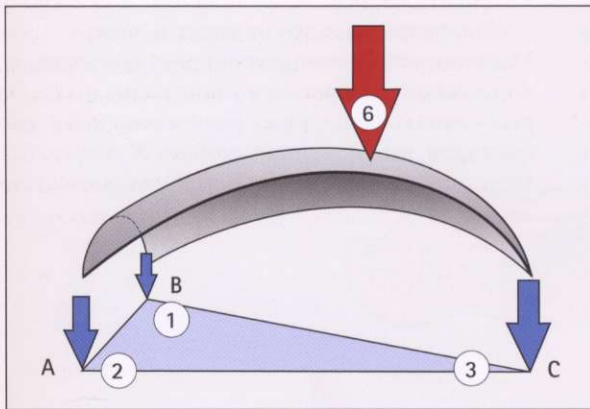


Рис. 35

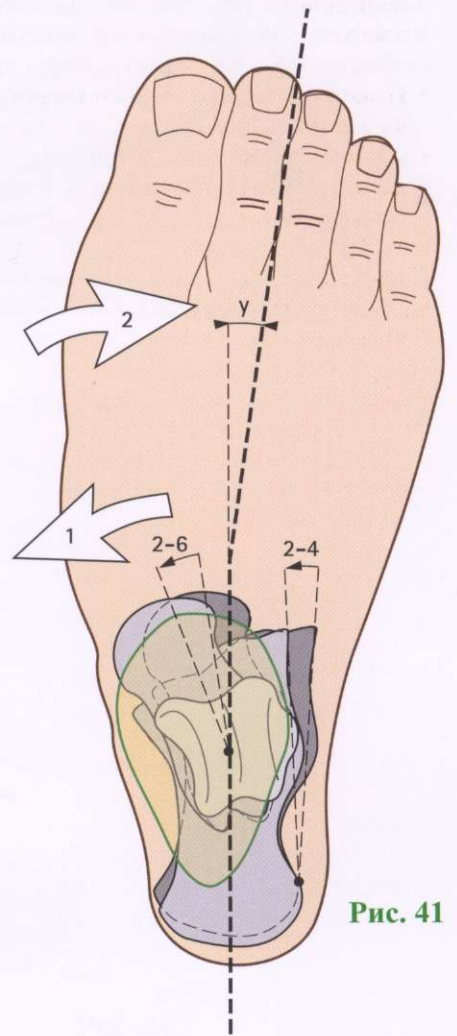


Рис. 41

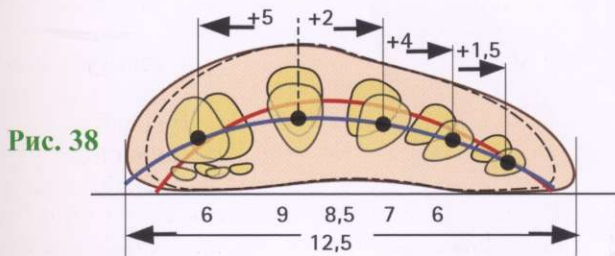


Рис. 38

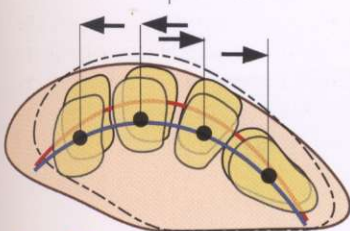


Рис. 39

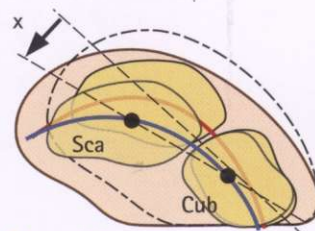


Рис. 40

# Архитектурное равновесие стопы

Стопа представляет собой **треугольную структуру** (рис. 42):

- **нижняя сторона А**, т.е. основание этого треугольника или подошвенный свод, выстлана подошвенными мышцами и связками;
- **передневерхняя сторона В** содержит сгибатели голеностопного сустава и разгибатели пальцев стопы;
- **задняя сторона С** включает разгибатели голеностопного сустава и сгибатели пальцев стопы.

Нормальная форма подошвенного свода, позволяющего стопе хорошо адаптироваться к особенностям плоскости опоры, **является результатом уравнивания воздействующих сил по трем сторонам треугольника** (рис. 43), которые образованы группами костей, объединенных в голеностопный сустав и в суставной комплекс заднего отдела предплюсны.

- **Полая стопа с чрезмерно высоким подошвенным сводом** может быть обусловлена укорочением подошвенных связок, контрактурой подошвенных мышц и недостаточностью сгибателей голеностопного сустава.

- **Плоская стопа с уплощением подошвенного свода** может являться следствием недостаточности подошвенных связок или мышц, а также гипертонуса передних или задних мышц стопы.

Это еще один вариант концепции **трехстороннего равновесия**, что можно продемонстрировать на примере доски для виндсерфинга (рис. 44). Именно этот пример помог нам понять равновесие коленного сустава. Стабильность является результатом динамического равновесия трех факторов:

- плавание под действием толчка Архимеда;
- движение вперед под воздействием наполненных ветром парусов;
- моментальная компенсация путем приложения веса тела, направляемого на парус и доску.

Мы привыкли к равновесию двух факторов, но гораздо сложнее разобраться в равновесии трех... В некоторых случаях существует равновесие даже множества факторов, как, например, *мобили Колдера* (А. Calder), художника и скульптора, создателя соответствующей теории.



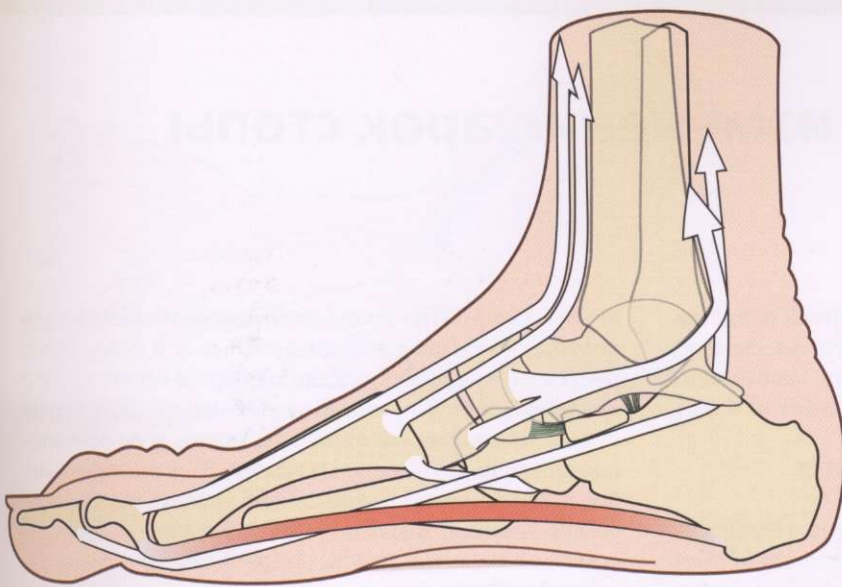


Рис. 42

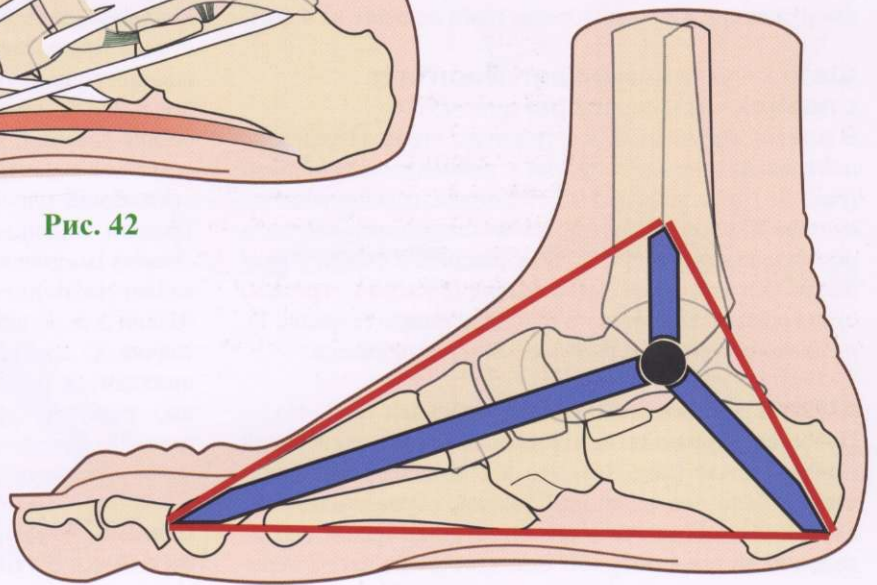


Рис. 43

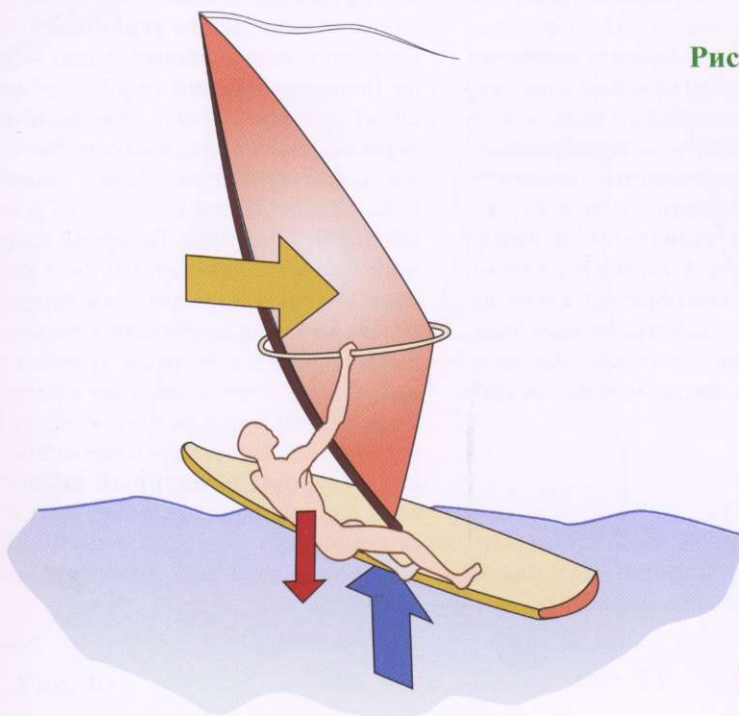


Рис. 44

# Архитектурное равновесие стопы

Стопа представляет собой **треугольную структуру** (рис. 42):

- **нижняя сторона А**, т.е. основание этого треугольника или подошвенный свод, выстлана подошвенными мышцами и связками;
- **передневерхняя сторона В** содержит сгибатели голеностопного сустава и разгибатели пальцев стопы;
- **задняя сторона С** включает разгибатели голеностопного сустава и сгибатели пальцев стопы.

Нормальная форма подошвенного свода, позволяющего стопе хорошо адаптироваться к особенностям плоскости опоры, **является результатом уравнивания воздействующих сил по трем сторонам треугольника** (рис. 43), которые образованы группами костей, объединенных в голеностопный сустав и в суставной комплекс заднего отдела предплюсны.

- **Полая стопа с чрезмерно высоким подошвенным сводом** может быть обусловлена укорочением подошвенных связок, контрактурой подошвенных мышц и недостаточностью сгибателей голеностопного сустава.

- **Плоская стопа с уплощением подошвенного свода** может являться следствием недостаточности подошвенных связок или мышц, а также гипертонуса передних или задних мышц стопы.

Это еще один вариант концепции **трехстороннего равновесия**, что можно продемонстрировать на примере доски для виндсерфинга (рис. 44). Именно этот пример помог нам понять равновесие коленного сустава. Стабильность является результатом динамического равновесия трех факторов:

- плавание под действием толчка Архимеда;
- движение вперед под воздействием наполненных ветром парусов;
- моментальная компенсация путем приложения веса тела, направляемого на парус и доску.

Мы привыкли к равновесию двух факторов, но гораздо сложнее разобраться в равновесии трех... В некоторых случаях существует равновесие даже множества факторов, как, например, *мобили Колдера* (A. Calder), художника и скульптора, создателя соответствующей теории.

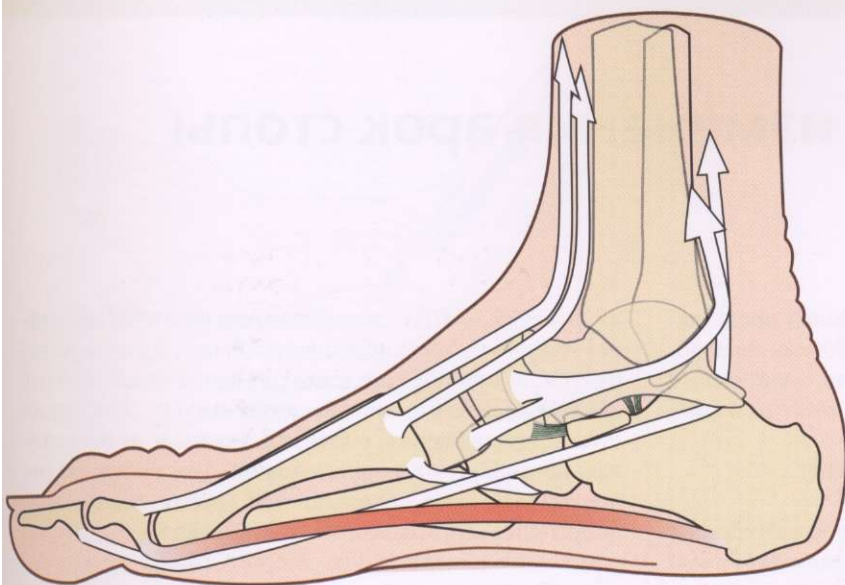


Рис. 42

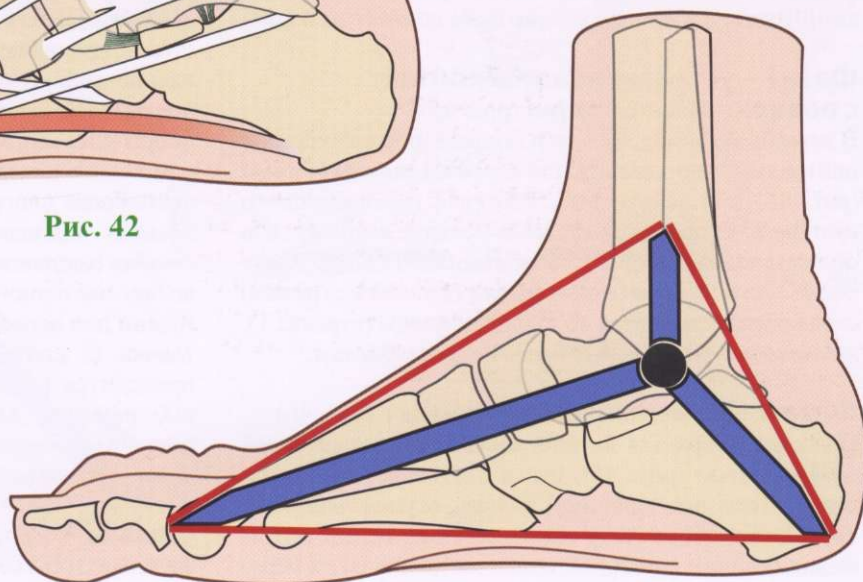


Рис. 43

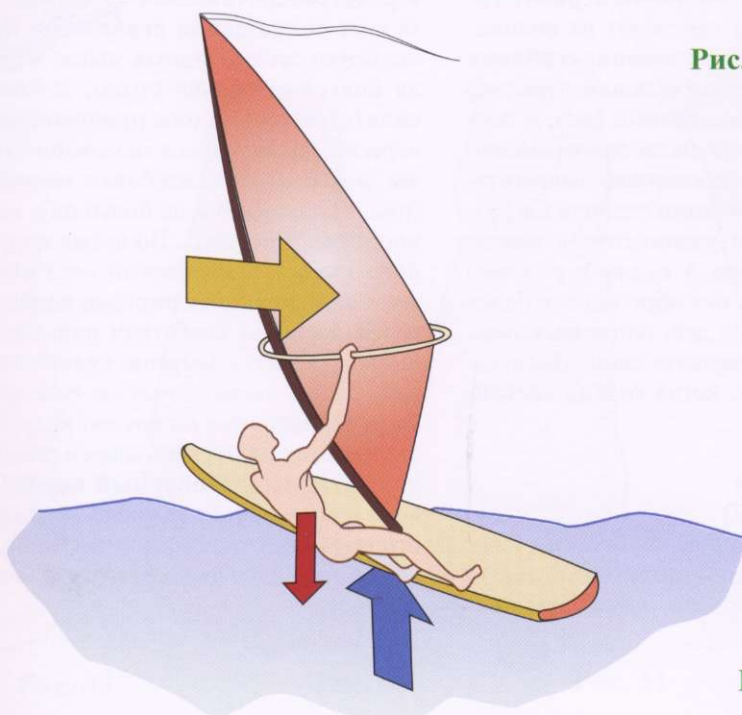


Рис. 44

# Динамические изменения арок стопы при ходьбе

В процессе ходьбы **каждый момент шага** представляет для стопы нагрузку и воздействует на свод подошвы, что ясно показывает ее роль эластичного амортизатора. Осуществление шага состоит из **4 фаз**.

## Фаза I - устанавливается контакт с поверхностью опоры (рис. 45)

В момент касания плоскости опоры стопа находится в нейтральном положении или в **небольшом сгибании** (рис. 45) под действием сгибателей голеностопного сустава F. Стопа соприкасается с полом *пяткой*, т.е. в области задней опоры C подошвенного свода. Сразу после этого под *давлением голени (красная стрелка)* стопа расплывается по площади опоры (стрелка 1), и *голеностопный сустав пассивно разгибается*.

## Фаза II - максимальный контакт (рис. 46)

Подошва опирается на плоскость опоры всей своей поверхностью (рис. 46), что и составляет отпечаток стопы. Тело под влиянием толчка, осуществляемого другой стопой, сначала оказывается на одной вертикальной линии с опорной конечностью, а затем перемещается кпереди от нее (**одноопорный период**). Голеностопный сустав пассивно переходит из положения разгибания в новое для него **положение сгибания** (стрелка 2). В это время вес тела (*красная стрелка*) полностью приходится на подошвенный свод, и последний уплощается. Уплотнение свода одновременно контролируется натяжением подошвенных напрягателей P - **первая стадия амортизации** ударной нагрузки. Уплотняясь, свод немного удлиняется: в начале этого движения передняя опора A *слегка перемещается кпереди*, а в конце, когда она обретает все более надежный контакт с полом под действием веса тела, задняя опора C, т.е. пятка, *отступает кзади*. Площадь отпечатка стопы максимальна, **когда голень составляет со стопой прямой угол**.

## Фаза III - первая стадия активного толчка (рис. 47)

Вес тела переносится на переднюю часть стопы и **сокращение разгибателей голеностопного сустава T**, особенно трехглавой мышцы голени, *поднимает пят-*

*ку* (стрелка 3). При таком активном **разгибании** голеностопного сустава подошвенный свод в целом **ротуруется по отношению к его передней опоре A**. Тело *приподнимается и продвигается вперед*. Это первая стадия продвижения, она очень важна, и ее осуществление зависит от мощных мышц. Тем временем подошвенный свод, оказавшийся между плоскостью опоры спереди, мышечным воздействием сзади и весом тела в центре (рычаг второго типа), должен бы стать более плоским, если бы этому не противодействовали подошвенные напрягатели P. Это *вторая стадия амортизации* ударной нагрузки, которая позволяет частично сэкономить силу трехглавой мышцы голени для использования ее в конце этапа активного толчка. С другой стороны, в момент, когда вес тела приходится только на переднюю часть опорной стопы, *передняя арка, в свою очередь, уплощается* (рис. 48), и *передний отдел стопы расплывается по плоскости опоры* (рис. 49).

## Фаза IV - вторая стадия активного толчка (рис. 50)

К силе, обеспечиваемой трехглавой мышцей голени, за счет **сокращения сгибателей пальцев стопы f**, особенно сесамовидных мышц и длинного сгибателя большого пальца стопы, добавляется еще одна сила (стрелка 4). Стопа приподнимается на цыпочки, *перестает опираться на переднюю часть предплюсны, и вся опора приходится на три первых пальца* (рис. 51), особенно на большой в конечный этап одноопорного периода. Во время второй стадии активного толчка *подошвенный свод опять сопротивляется* уплощению с помощью подошвенных напрягателей, включая сгибатели пальцев. Именно теперь высвобождается энергия, хранившаяся в напрягателях. *Стопа отрывается от плоскости опоры, и вес тела переносится на другую ногу*. В процессе ходьбы имеется очень кратковременный момент опоры на обе стопы (**двуопорный период**). С началом нового одноопорного периода свод стопы, только что оторвавшейся от плоскости опоры, возвращается в исходное положение благодаря собственной эластичности.

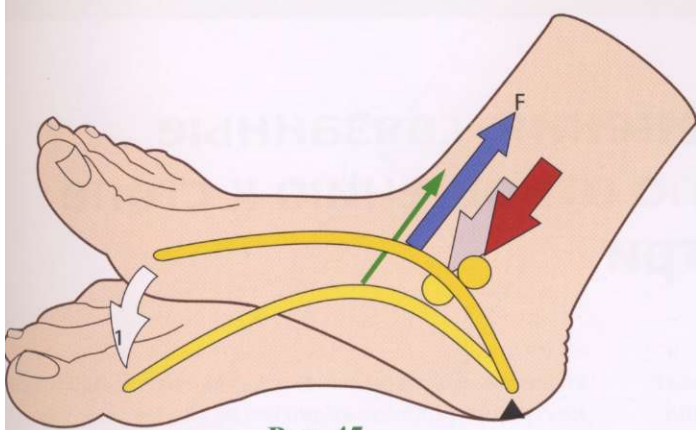


Рис. 45

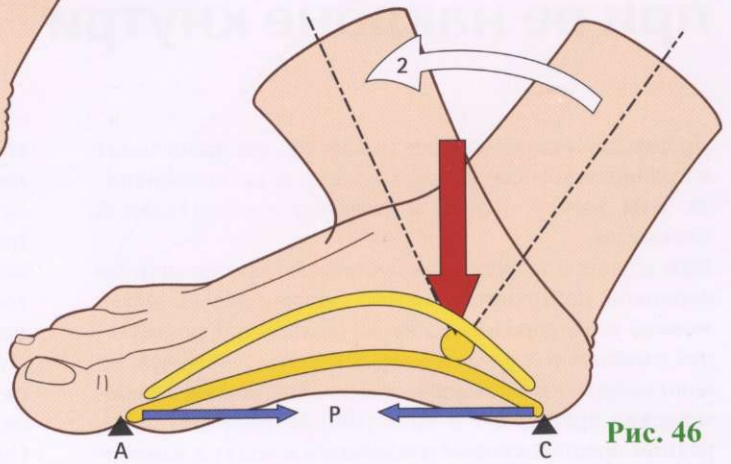


Рис. 46

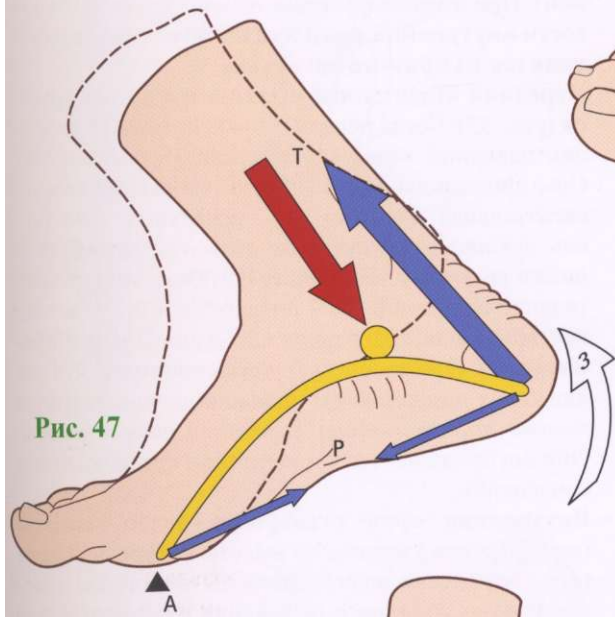


Рис. 47



Рис. 48

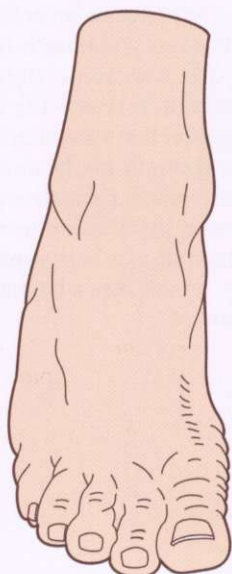


Рис. 49

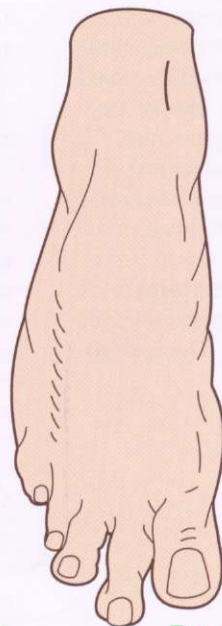


Рис. 51

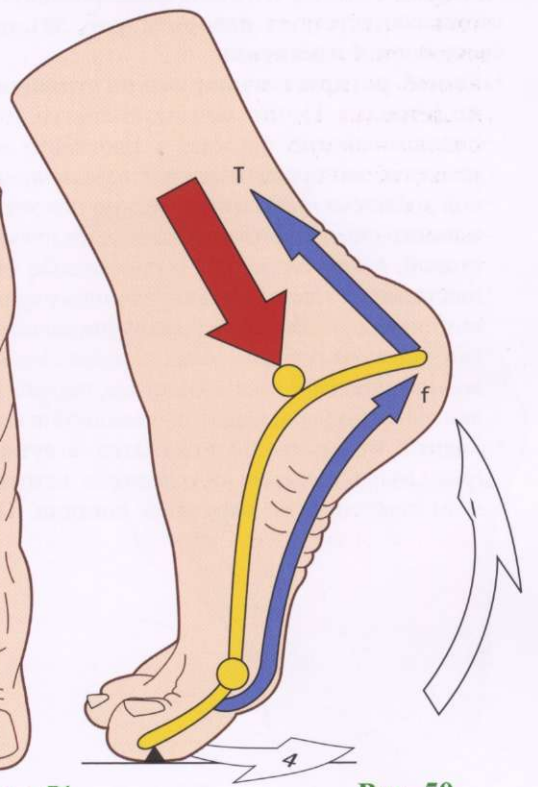


Рис. 50

# Динамические изменения, связанные с наклоном голени по отношению к стопе при ее наклоне кнутри

До сих пор мы обсуждали только то, что происходит в подошвенном своде при ходьбе, т.е. при изменениях угла между стопой и голенью в сагиттальной плоскости.

При ходьбе или беге по извилистой дорожке или по неровной поверхности *важно, чтобы голень могла менять угол, образуемый ею со стопой во фронтальной плоскости, т.е. наклоняться кнаружи и кнутри по отношению к отпечатку стопы*. Эти боковые перемещения происходят в подтаранном суставе и поперечном предплюсневом сочленении и ведут к изменению формы подошвенного свода. Обратите внимание на то, что голеностопный сустав в этом не участвует - таранная кость, зажата между лодыжками, перемещается по отношению к другим костям предплюсны. При медиальном наклоне голени по отношению к стопе (будем считать, что стопа фиксирована) положение стопы соответствует **повороту** (рис. 52), происходят следующие **4 изменения**:

- **Голень ротируется кнаружи по отношению к стопе (стрелка 1)**, что возможно только тогда, когда подошва плотно прижата к плоскости опоры. На практике это проявляется как *перемещение наружной лодыжки кзади* относительно положения, занимаемого ею, когда голень составляет прямой угол со стопой, и контакт стопы с плоскостью опоры осуществляется только по ее внутреннему краю (рис. 53, вид спереди на стопу в нормальном положении). Такая наружная ротация обеих лодыжек вызывает *смещение таранной кости кнаружи*, особенно ее головки, соприкасающейся с ладьевидной костью.
- **Задний отдел стопы отводится и супинируется** (рис. 54). Отведение обусловлено некомпенсируемым компонентом наружной ротации. Супинация

является результатом смещения пяточной кости кнутри, что хорошо видно сзади за счет угла  $\alpha$  между осями пятки и голени в фазу переноса ноги (рис. 55, вид сзади на стопу в нормальном положении). При этом «варусном» перемещении пяточной кости **внутренний край ахиллова сухожилия становится из прямого вогнутым**.

- **Передний отдел стопы приводится и пронируется** (рис. 52). Когда передняя арка опускается на землю, передний отдел стопы смещается медиально. Ось, проходящая через вторую плюсневую кость и сагиттальная плоскость  $P$ , проходящая через эту ось, наклоняются кнутри на угол  $\beta$ , который и обозначает величину приведения ( $P'$  показывает окончательное положение этой плоскости, а  $P$  - ее исходное положение). Передняя часть стопы еще и **пронируется**. Однако следует четко понимать, что эти движения приведения и пронации осуществляются *только по отношению к заднему отделу стопы*. Они осуществляются в поперечном предплюсневом сочленении.
- **Внутренняя арка становится более высокой** (рис. 52). Это увеличение высоты внутренней арки (**стрелка 2**) само по себе является следствием изменения относительного положения переднего и заднего отделов стопы. Оно связано с приподниманием ладьевидной кости над плоскостью опоры, которое одновременно является *пассивным* (смещение головки таранной кости кнаружи) и *активным* (сокращение задней большеберцовой мышцы). Общее изменение дуги подошвенного свода проявляется в изменении его контуров; стопа как бы становится более полой, как в случае **конско-варусной деформации**.

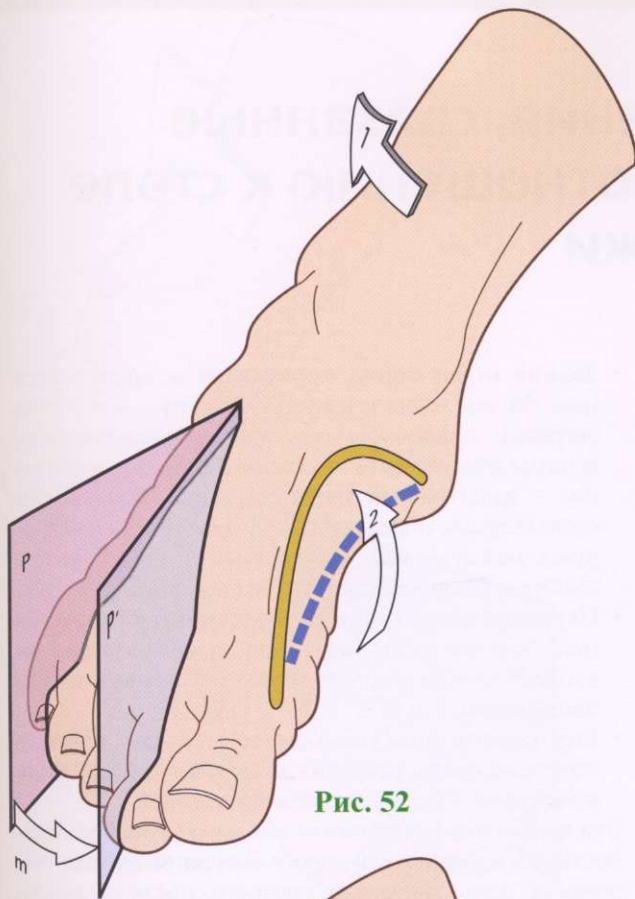


Рис. 52

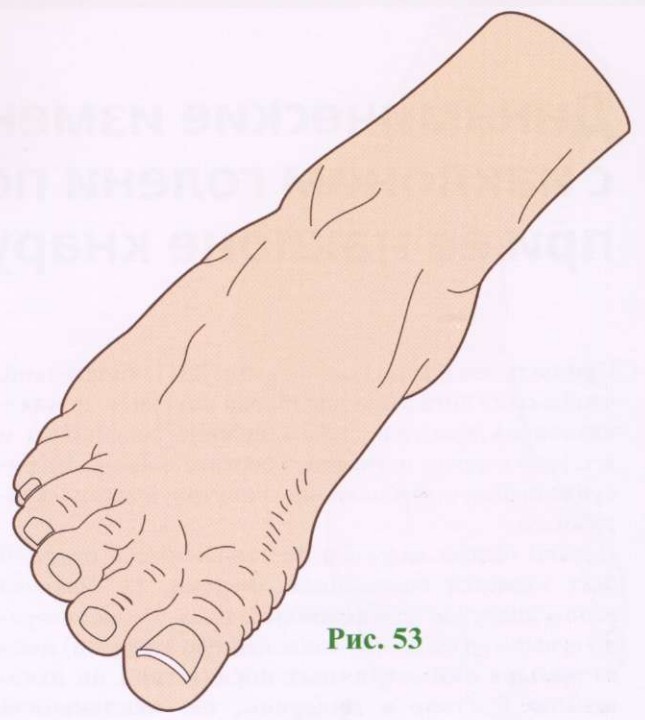


Рис. 53

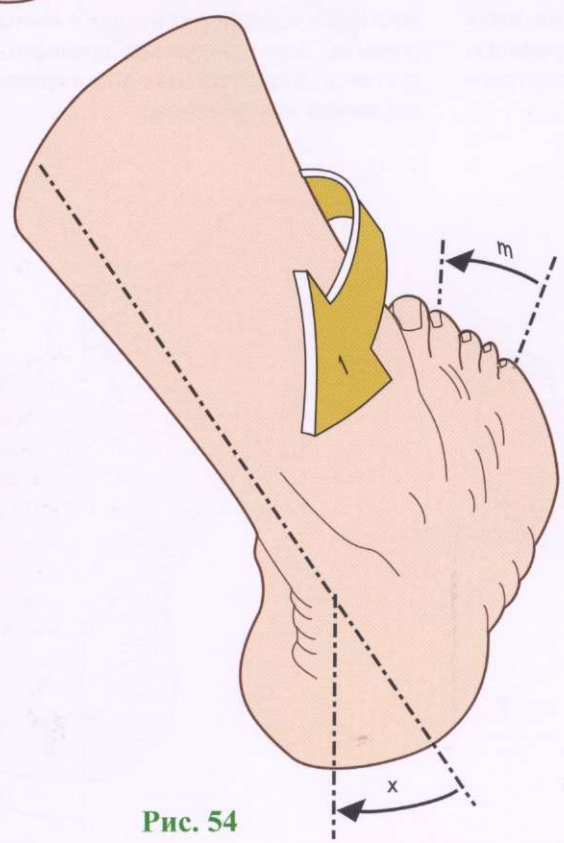


Рис. 54

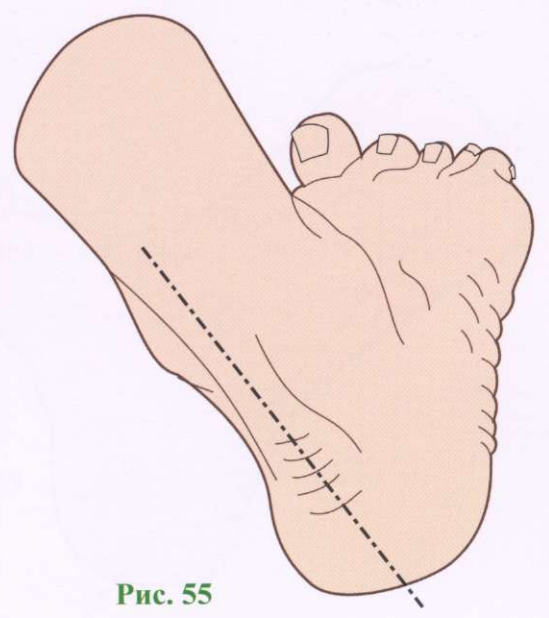


Рис. 55

# Динамические изменения, связанные с наклоном голени по отношению к стопе при ее наклоне кнаружи

При подъеме в гору (рис. 62, стр. 281) обязательно, чтобы одна нога была наклонена кнутри, а другая - наклонена кнаружи, чтобы нижние конечности и все тело в целом оставались вертикальными. На рисунке правая стопа наклонена кнутри, а левая - кнаружи.

Наклон голени *кнаружи* по отношению к опорной ноге является положением **эверсии**, т.е. наклона стопы кнаружи. Это положение (рис. 55, вид спереди и изнутри на стопу, наклоненную кнаружи) **имеет четыре симметричных последствия по отношению к стопе в инверсии, т.е. наклоненной кнутри.**

- **Голень ротруется кнутри по отношению к стопе** стрелка 3: внутренняя лодыжка смещается кзади, что заметно при сравнении положением, когда стопа опирается только на наружный край, не имея опоры на полу (рис. 57). Таранная кость перемещается кнутри, так что ее головка выстоит по внутреннему краю стопы.

- **Задний отдел стопы приводится и проируется** (рис. 58, вид сзади и изнутри на стопу в положении эверсии): приведение обусловлено некомпенсированным компонентом внутренней ротации, а пронация - вальгизацией пяточной кости. Пронация, в свою очередь, определяется углом  $\gamma$ , открытым кнаружи, между осями пятки и голени, заметным при сравнении с положением свободной стопы (рис. 59).

- **Передний отдел стопы отводится и супинируется** (рис. 56): это видно, как и при инверсии (стопа наклонена кнутри) благодаря углу отведения  $\beta$  между плоскостями  $P$  и  $P'$ .

- **Внутренняя арка уплощается** стрелка 4: площадь отпечатка стопы увеличивается, как это бывает при **плосковальгусной деформации стопы.**

Эти положения адаптации стопы к наклонной поверхности или к извилистой дороге зависят от функционирования подтаранного и среднего предплюсневого суставов, **незаменимых для нормальной ходьбы по неровной поверхности.**



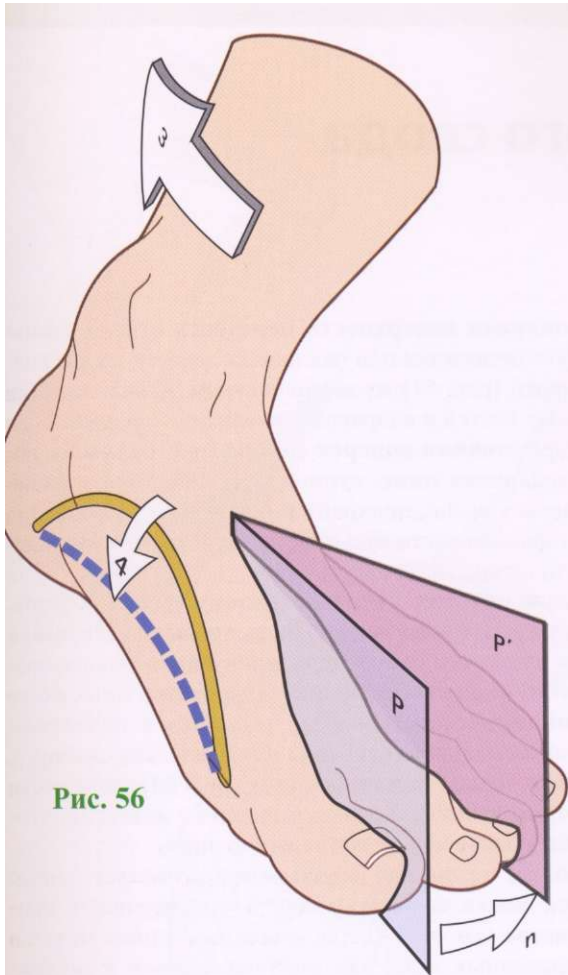


Рис. 56

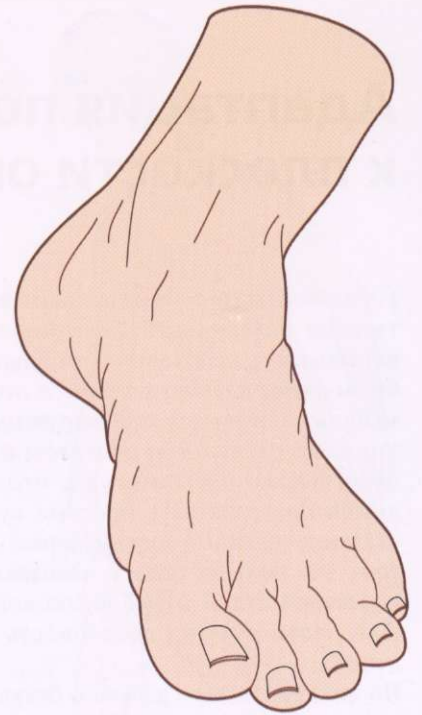


Рис. 57

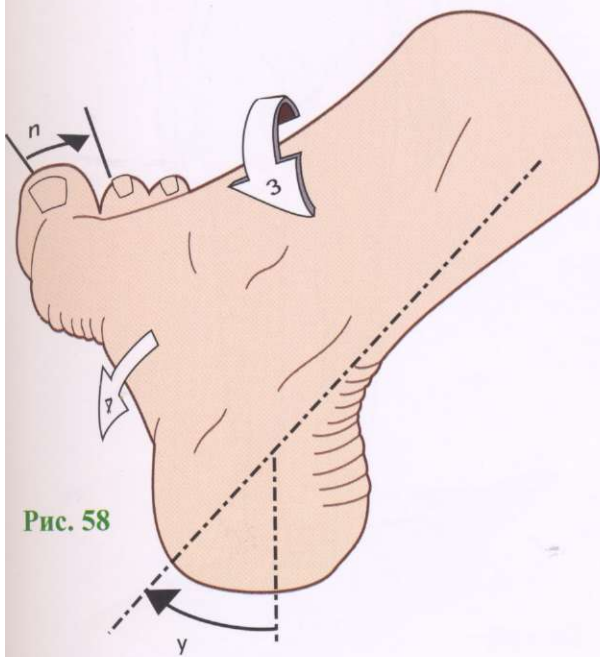


Рис. 58

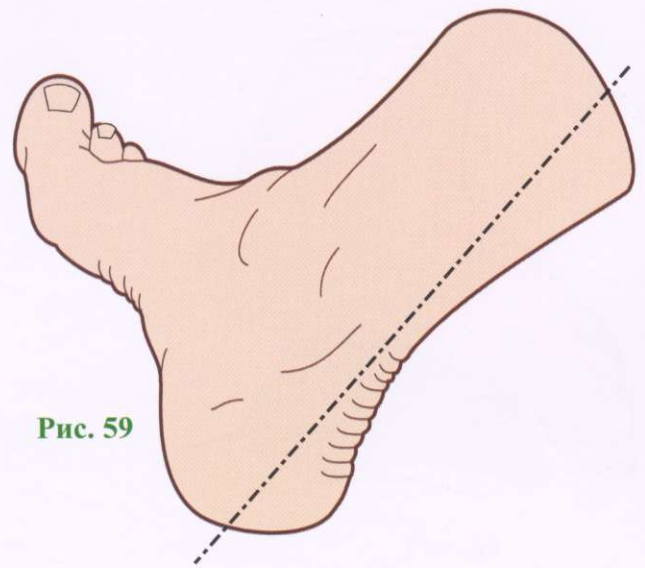


Рис. 59

# Адаптация подошвенного свода к плоскости опоры

Городской житель всегда ходит в обуви по ровной, твердой поверхности. Поэтому арки его стопы не испытывают необходимости адаптироваться к особенностям плоскости опоры, и поддерживающие их мышцы постепенно атрофируются. Плоская стопа — это наша расплата за прогресс; и некоторые антропологи даже прогнозируют, что в будущем стопы людей превратятся в простые культи. Такое предсказание находит определенное подтверждение в том, что пальцы стоп у человека по сравнению с обезьяной стали менее функциональными, а большой палец утратил способность к противопоставлению.

Но это перспектива далекого будущего, а пока «цивилизованный» человек может ходить босиком по пляжу и даже по камням. Такой возврат к первобытному состоянию чрезвычайно полезен для подошвенного свода (и не только для него), поскольку в подобной ситуации стопа должна призывать на помощь свою **способность к адаптации**.

- **адаптироваться к неровностям плоскости опоры** посредством изменения высоты свода (рис. 60);
- **адаптироваться к наклону плоскости**, по которой осуществляется передвижение:

- **опорная поверхность переднего отдела стопы** увеличивается при наклоне плоскости опоры кнаружи (рис. 61) из-за уменьшения длины плюсневых костей в направлении изнутри кнаружи.
- при **стоянии поперек склона** (рис. 62) стопа, находящаяся ниже, супинируется, а стопа, находящаяся выше, приходит в положение эверсии, т.е. таранная кость вальгизируется — то, что мы видели на предыдущей странице;
- при **подъеме вверх по склону** (рис. 63) стопа, стоящая сзади, должна быть прочно фиксирована к плоскости опоры перпендикулярно склону, поэтому она приобретает черты *pes cavus varus*, а стопа, вынесенная вперед, находится в положении максимального сгибания и параллельна склону;
- при **ходьбе вниз по склону** (рис. 64) стопе часто приходится принимать положение инверсии, чтобы обеспечить максимальную опору.

Таким же путем, как ладонь кисти позволяет точные хватки, меняя свою кривизну и ориентацию в пространстве (см. том I), так и подошва стопы может в определенных пределах *адаптироваться к особенностям плоскости опоры*, обеспечивая максимальный контакт.



Рис. 63

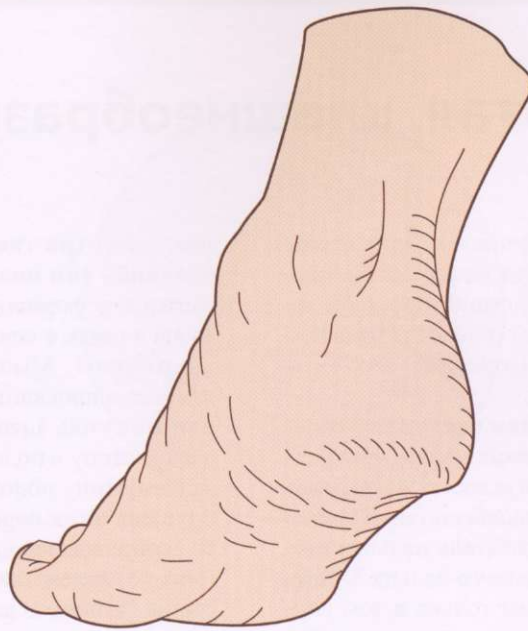


Рис. 61

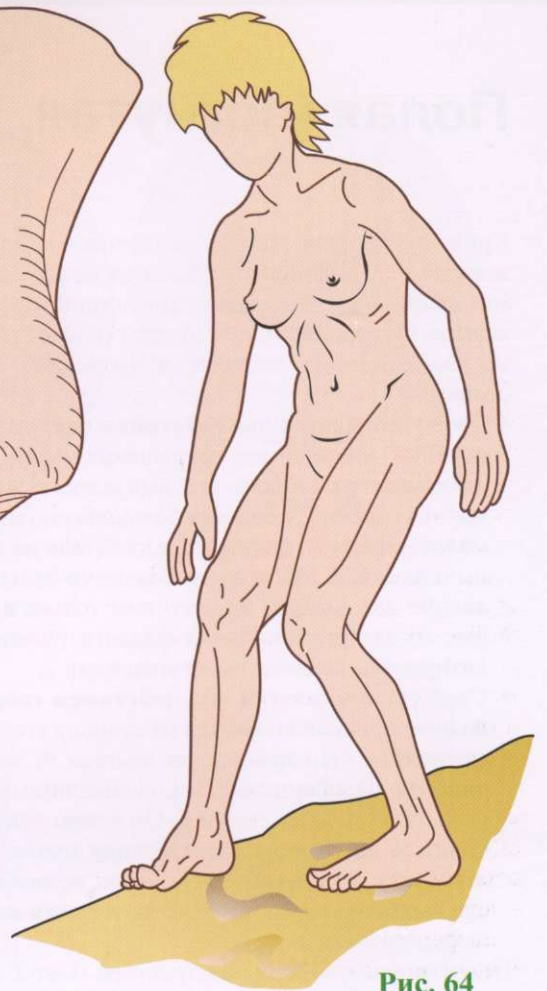


Рис. 64

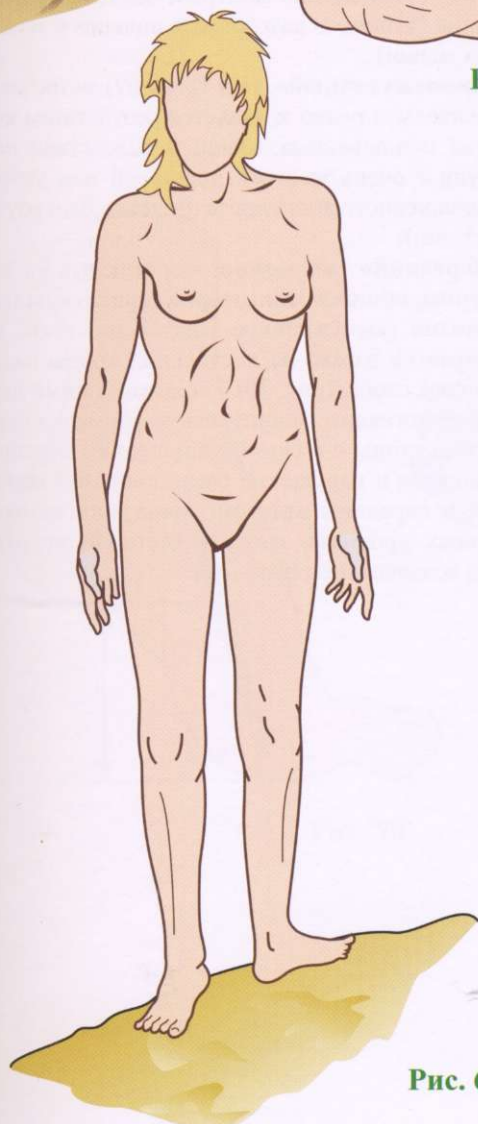


Рис. 62

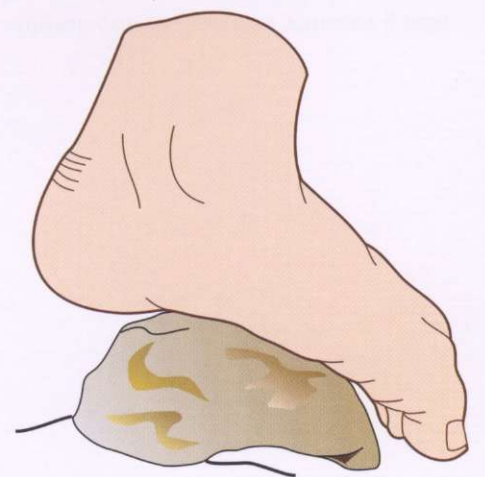


Рис. 60

## Полая (вогнутая, клешнеобразная) стопа

Кривизна и ориентация подошвенного свода стопы зависят от очень тонкого баланса между различными мышцами. Это можно продемонстрировать на модели Омбредана (Ombredanne) (рис. 65, схематично изображенные костные и мышечные элементы стопы):

- Свод **уплощается под действием веса тела (синяя стрелка)** и вследствие сокращения мышц, прикрепляющихся на стороне его выпуклости: трехглавая мышца голени 1, передняя большеберцовая и третья малоберцовая 2, длинный разгибатель пальцев стопы и длинный разгибатель большого пальца 3. Последние две мышцы эффективны только в том случае, когда проксимальные фаланги пальцев стабилизированы межкостными мышцами 7.
- Свод **увеличивается под действием сокращения мышц**, прикрепляющихся на стороне его вогнутости: задняя большеберцовая мышца 4, короткая и длинная малоберцовые 5, подошвенные мышца 6 и сгибатели пальцев стопы 6. Он может также увеличиваться вследствие расслабления *мышц, прикрепляющихся на стороне выпуклости*, и, наоборот, расслабление мышц на стороне вогнутости ведет к уплощению свода.

Недостаточность или контрактура какой-то одной мышцы нарушает общее равновесие и приводит к деформации. Дюшен де Булонь (Duchenne de Boulogne) в этой связи утверждает, что лучше иметь паралич всех мышц, поскольку при этом стопа сохраняет нормальную форму и положение, чем паралич какой-то одной мышцы, который ее деформирует.

Существуют **три типа полой стопы**.

- **«Задний» тип полой стопы** (рис. 66), при котором имеется деформация заднего устоя подошвенного свода в связи с недостаточностью трехглавой мышцы голени 1. Мышцы на стороне вогнутости дуги несбалансированы 6, и подошва становится полой или вогнутой. Сгибатели голеностопного сустава 2 влекют стопу в положение сгибания. Это приводит к заднему типу полой стопы, когда пятка может быть опущена ниже передней части стопы (рис. 67), часто сопровождающейся вальгусной деформацией (рис. 68) вследствие контрактуры отводящих мышц стопы (длинного разгибателя пальцев и малоберцовых мышц).
- **«Промежуточный» тип** (рис. 69) встречается относительно редко и является результатом контрактуры подошвенных мышц 6 вследствие ношения обуви с очень жесткой подошвой или укорочения подошвенного апоневроза (болезнь Ледероуза (Ledderhose)).
- **«Передний» тип** можно подразделить на две подгруппы, общими для которых является наличие эквинизма (вынужденное разгибание ноги, которая опирается только на дистальные концы пальцев) - конской стопы (рис. 70) - со следующими двумя характеристиками: эквинусная деформация переднего отдела стопы *e* в связи с опущением переднего устоя свода и нарушение соотношений *d* между пяткой и передним отделом стопы (они находятся на разных уровнях), которое частично исправляется под воздействием веса тела.

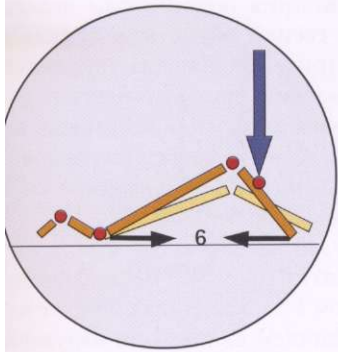


Рис. 69

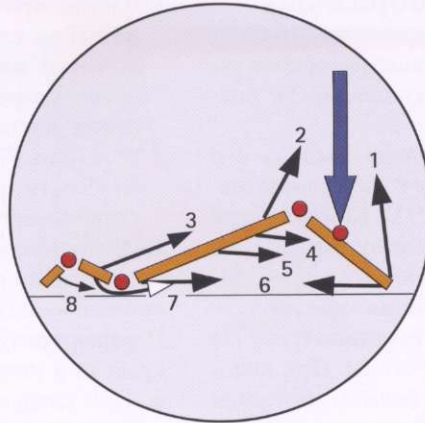


Рис. 65

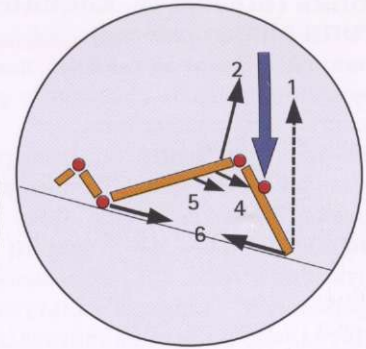


Рис. 66

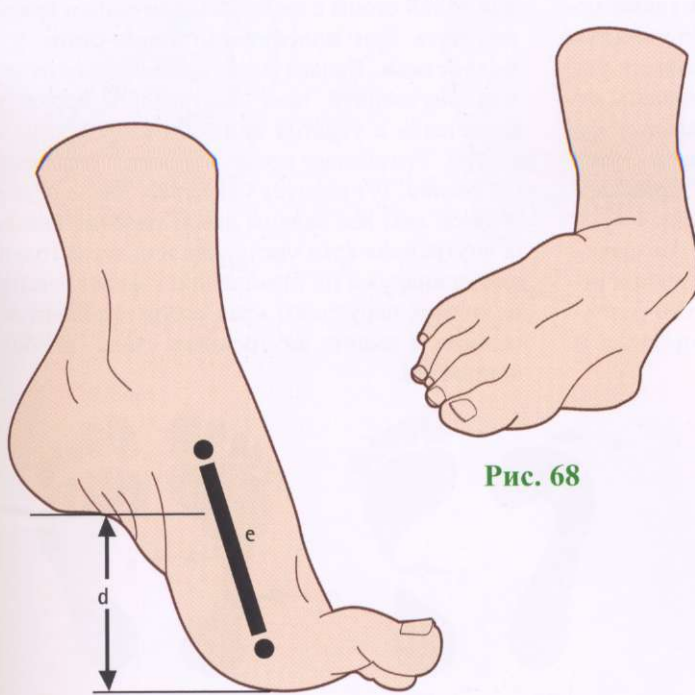


Рис. 70



Рис. 68

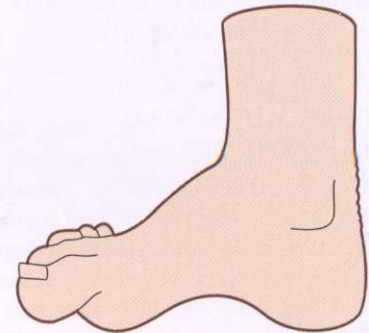


Рис. 67

### **Полая (вогнутая, клешнеобразная) стопа (продолжение)**

**В зависимости от механизма**, лежащего в основе деформации, описаны следующие разновидности «переднего» типа полой стопы:

- Контрактура задней большеберцовой мышцы **4** и малоберцовых мышц **5** приводит к **опущению переднего отдела стопы** (рис. 71). **Контрактура только малоберцовых мышц** может вызвать полую стопу (рис. 72), осложненную вальгусной деформацией, - **конская вальгусная полая стопа**.
- **Дисбаланс плюснефаланговых суставов** (рис. 73) является частой причиной полой стопы. При недостаточности межкостных мышц **7** баланс сдвигается в пользу разгибателей пальцев **3**, следствием чего является переразгибание первых фаланг. Затем опускаются головки плюсневых костей **Б**, что приводит к опущению переднего отдела стопы и к когтеобразной стопе.
- **Опущение головок плюсневых костей** также может быть обусловлено (рис. 74) недостаточностью передней большеберцовой мышцы **2**. Длинный разгибатель пальцев **3** пытается компенсировать эту недостаточность и наклоняет проксимальные фаланги. Подошвенные мышцы **6**, баланс которых оказывается нарушенным, увеличивают кривизну свода, а действие трехглавой мышцы голени **1** приводит к легкой эквинусной деформации. Незначительная вальгизация (рис. 75) развивается по причине несбалансированного действия длинного разгибателя пальцев, отсюда и конечная деформация в виде **конская вальгусная полая стопа**.

- Частой причиной развития полой стопы является **ношение слишком тесной обуви или туфель на высоких каблуках** (рис. 76). Пальцы упираются в носок и переразгибаются **а**, при этом головки плюсневых костей опускаются **Б**. Под действием веса тела (рис. 77) *стопа скользит* вперед по наклонной плоскости, и *пятка и пальцы сближаются* **с**. Это увеличивает дугу свода еще больше.

Диагноз полой (вогнутой) деформации стопы легче поставить по ее **отпечатку** (рис. 78). По сравнению с нормальным отпечатком **I** первая стадия полой стопы **II** характеризуется наличием выступа по наружному краю **т** и углублением вогнутости внутреннего края **п**. При следующей **III** стадии вогнутость достигает наружного края **р**, разделяя отпечаток на две части. И, наконец, в запущенных случаях **IV** к этому добавляется отсутствие отпечатков пальцев **q** в связи с их когтеобразной деформацией.

Однако следует помнить, что отпечаток, типичный для полой стопы с неполным наружным краем, можно получить при **плосковальгусной стопе у детей и подростков**. Вальгизация пяточной кости и уплощение внутренней арки заставляют наружную арку «взлететь» с утратой контакта с площадью опоры в центре. Это создает почву для *отпечатка ложной полой стопы*, тут следует учитывать такие особенности оттиска, как: все пальцы лежат распластанными, когда внутренняя арка увеличена или когда голень ротируется наружу по отношению к фиксированной стопе, оттиск наружного края стопы становится непрерывным, а высота внутреннего свода еще более увеличивается.

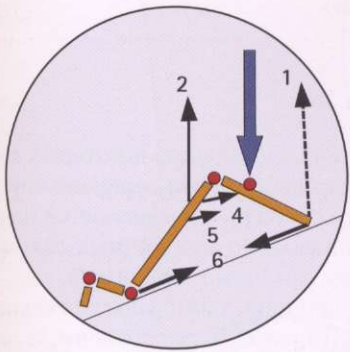


Рис. 71

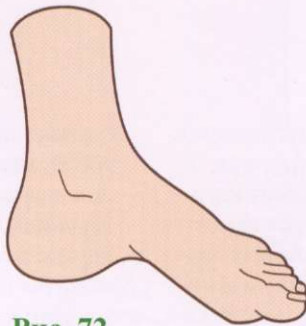


Рис. 72

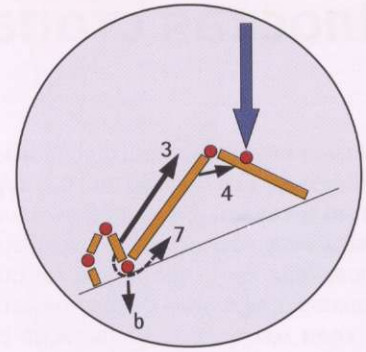


Рис. 73

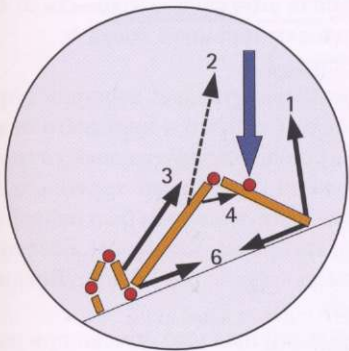


Рис. 74



Рис. 75

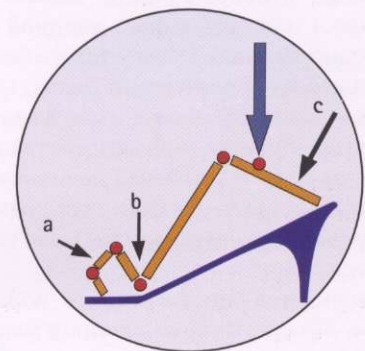


Рис. 76

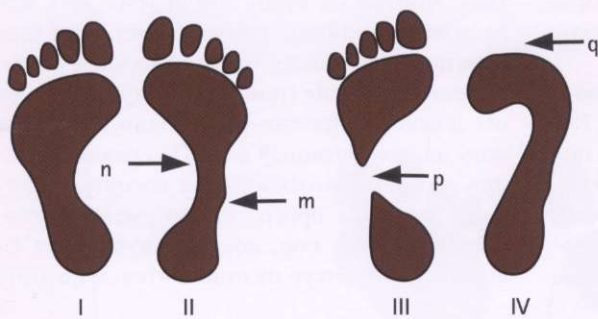


Рис. 78

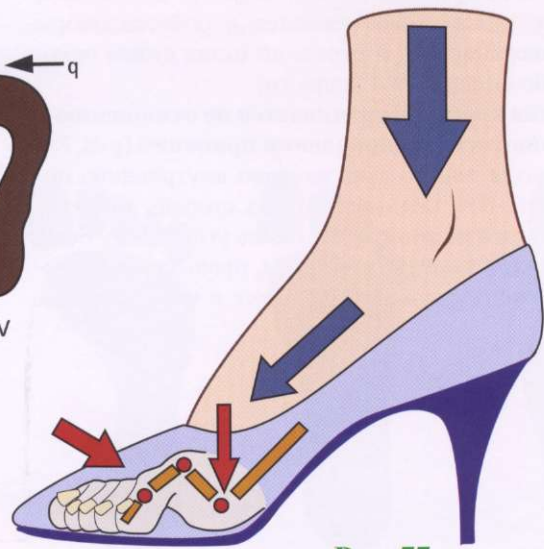


Рис. 77

# Плоская стопа

Сильное опущение подошвенного свода обусловлено **слабостью его природных опорных структур - мышц и связок**. Связки сами по себе способны удерживать свод в течение короткого времени: свежеемпутированная конечность при нетронутых связках оставляет нормальный отпечаток стопы. Однако в жизни, **если мышечная поддержка свода оказывается недостаточной, связки постепенно растягиваются, и свод окончательно опускается**.

Таким образом, плоская стопа в основном является результатом мышечной недостаточности (рис. 79), а именно недостаточности задней большеберцовой мышцы 4 или еще чаще - длинной малоберцовой 5. Свободно висящая стопа у такого больного показывает тенденцию к **варизации** (*vagus*) (рис. 80), поскольку длинная малоберцовая мышца является отводящей. С другой стороны, под воздействием веса тела при опоре на ногу **внутренняя арка опускается** (рис. 81, опущенная арка показана красным) и **появляется вальгусная деформация**. Этот вальгус обусловлен двумя факторами:

- **Поперечная арка стопы**, в норме удерживаемая (рис. 82) сухожилием длинной малоберцовой мышцы (**белая стрелка**), уплощается (рис. 83). В то же самое время внутренняя арка опускается: за этим следует удлинение арки 3 и передний отдел стопы е ротируется кнутри по отношению к ее продольной оси, так что подошва касается плоскости опоры всей поверхностью, и передний отдел стопы одновременно смещается **d** кнаружи.
- **Пяточная кость поворачивается по отношению к ее длинной оси в направлении пронации** (рис. 84) и стремится плоско лечь на свою внутреннюю поверхность. Эта видимая на глаз степень вальгуса может быть измерена по величине угла между осью пятки и ахилловым сухожилием, превышает физиологические пределы ( $5^\circ$ ) и может в определенных

случаях доходить до  $20^\circ$ . По мнению некоторых авторов, такая вальгусная деформация первично обусловлена деформацией суставных поверхностей подтаранного сустава и вялостью межкостных связок, другие же считают эти факторы вторичными.

Какова бы ни была его причина, такой вальгус **смещает центр нагрузки к внутреннему краю стопы**, и **головка таранной кости перемещается книзу и кнутри**. На внутреннем контуре стопы появляются **три более или менее заметных выступа** (рис. 83):

- ненормально выстоящая внутренняя лодыжка **a**;
- медиальная часть головки таранной кости **б**;
- бугор ладьевидной кости **с**.

Бугор ладьевидной кости представляет вершину тупого угла, образуемого осями заднего и переднего отделов стопы: **приведение-пронация заднего отдела уравновешивается отведением-супинацией переднего**, и **дуга свода уплощается** (этот механизм был подробно описан классическими авторами, Хохманом, Белером, Хаузером, Дельеином и Сером (Hohmann, Boehler, Hauser, Delchef, Soeur)).

Такой комплекс деформаций был уже описан при рассмотрении **изменений подошвенного свода в статическом положении** (рис. 41, стр. 271) (в этом случае они менее выражены): это относительно часто встречающееся состояние известно как **болезненное плоскостопие** или **тарзалгия молодых**. Его легко заметить, смотря на стопу сзади (рис. 84), когда видно расхождение линии пяточной кости при вальгусе **f**. Диагностика плоскостопия облегчается при изучении отпечатков стопы (рис. 85). Получить отпечаток стопы довольно просто: достаточно поставить мокрую ногу на сухой темный фон. По сравнению с нормой I, при **развитии плоскостопия** вогнутость внутреннего контура стопы прогрессивно уменьшается (**II и III стадии**) до тех пор, пока в запущенных случаях **IV** внутренний контур не становится даже выпуклым.



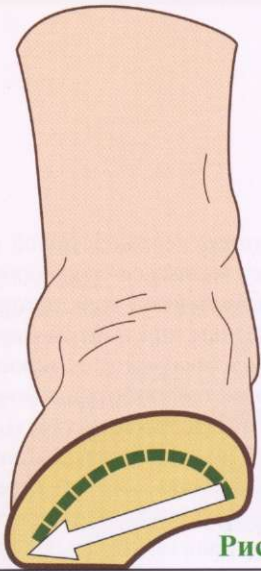


Рис. 82

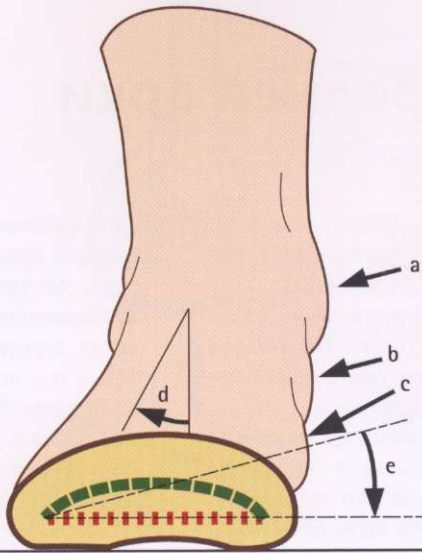


Рис. 83

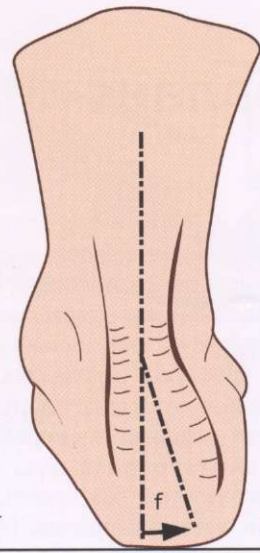


Рис. 84

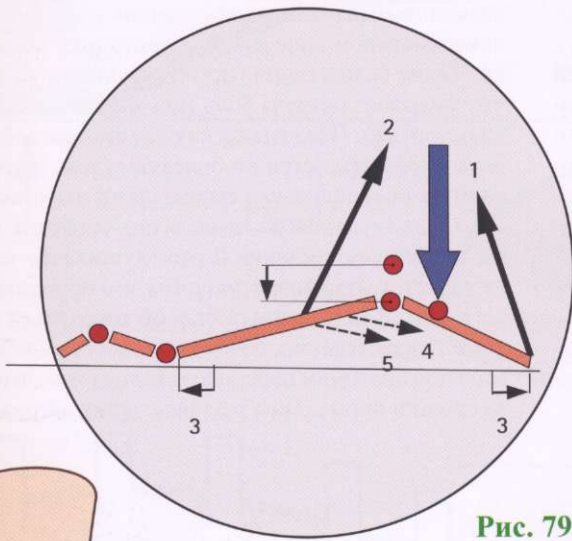


Рис. 79

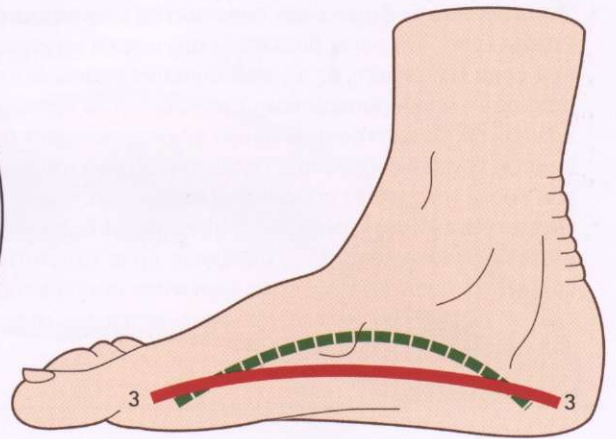


Рис. 81

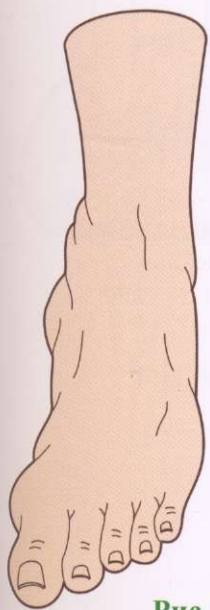


Рис. 80

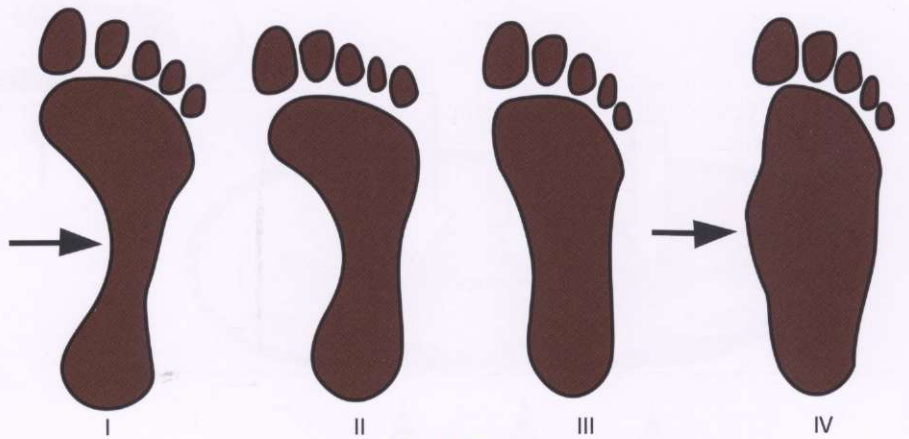


Рис. 85

## Дисбаланс передней арки

При развитии деформаций подошвенного свода **равновесие передней арки может нарушиться на уровне опор** и вследствие изменений ее кривизны.

Этот **дисбаланс** обычно бывает вторичным по отношению к переднему типу полой стопы. Эквинусная деформация переднего отдела стопы увеличивает нагрузку на переднюю арку тремя путями.

- **Эквинусная деформация переднего отдела стопы является симметричной** (рис. 86, срез на уровне костей плюсны), т.е. без пронации или супинации стопы; дуга арки сохраняется. При этом обе опоры оказываются перегруженными, и под головками первой и пятой плюсневых костей (**стрелки**) появляются натоптыши.
- **Эквинусная деформация сочетается с пронацией стопы** (рис. 87) из-за большего опущения внутренней арки (контрактура задней большеберцовой или длинной малоберцовой мышц). Если изгиб арки сохраняется, то внутренняя опора арки принимает основной груз на себя, и под головкой первой плюсневой кости (**стрелка**) появляется натоптыш.
- **Эквинусная деформация сопровождается супинацией стопы** (рис. 88): передняя арка стремится сохранить свою высоту, и ее наружная опора испытывает перегрузку (натоптыш появляется под головкой пятой плюсневой кости).

При определенных типах передней полой стопы **дуга передней арки может меняться** следующим образом:

- быть **частично уплощенной или выпрямленной**, так бывает при переднем типе плоскостопия (рис. 89), когда перегружаются головки всех плюсневых костей, и под всеми имеются натоптыши (**стрелки**);
- **поменять выпуклость на вогнутость** (рис. 90); это стопа с круглой передней частью, или *передний тип вогнутой стопы*, при котором перегрузку испытывают головки трех средних плюсневых костей с появлением болезненных натоптышей под ними.

Эти натоптыши являются роговыми уплотнениями, появляющимися вследствие точечной перегрузки, когда в поверхностном слое кожи разрастаются роговые клетки. Такие разрастания часто продолжают в глубину, что вызывает острую боль при малейшем наступании на натоптыш. Натоптыши служат бесперебойным заработком специалистов по болезням стоп, которые иссекают их специальными скальпелями и срезают лезвиями. Однако пациенты чаще всего остаются недовольны, поскольку срезание и отшелушивание натоптыша не является удалением причины, его породившей, - перегрузки. Единственный способ избавиться от натоптышей навсегда заключается в восстановлении нормальной анатомии переднего свода стопы, что повлечет за собой и нормальное распределение нагрузок.

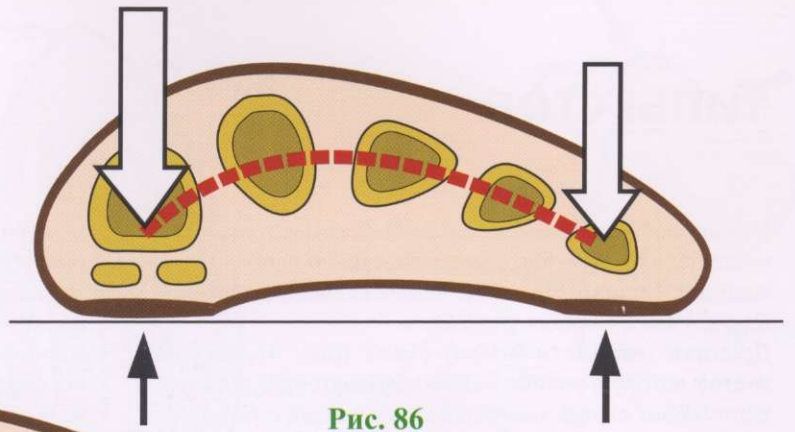


Рис. 86

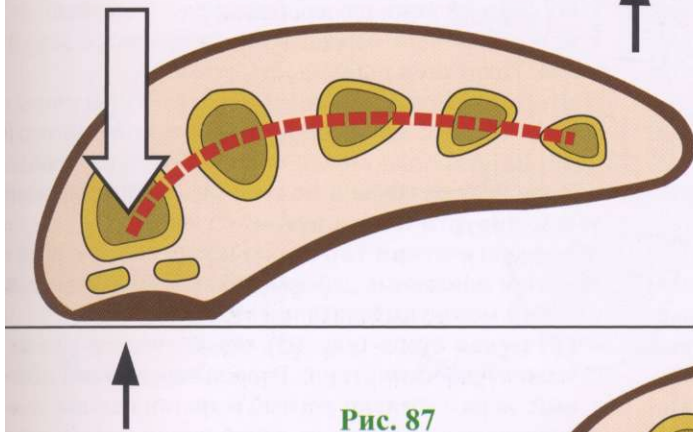


Рис. 87

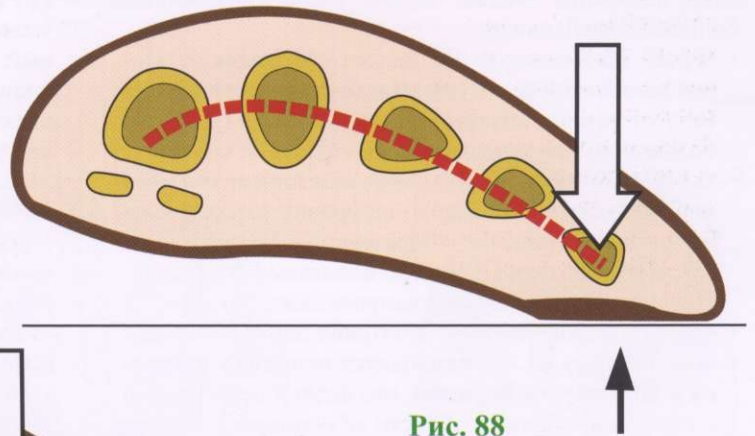


Рис. 88

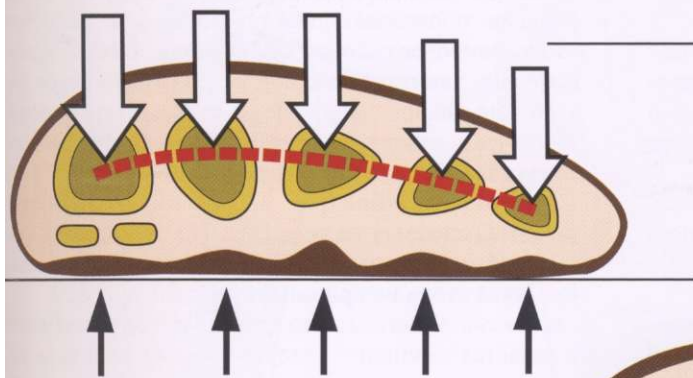


Рис. 89

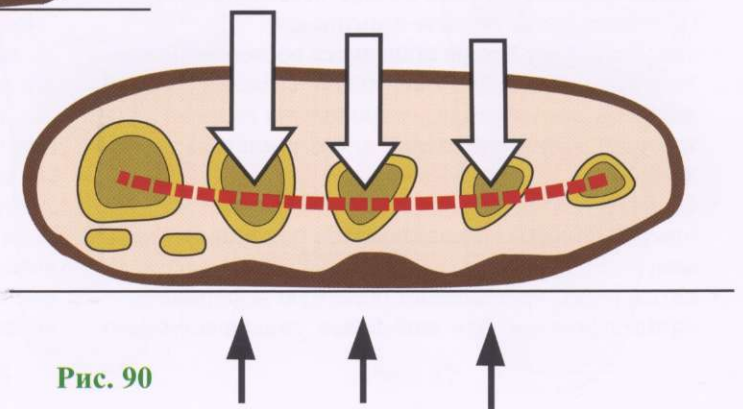


Рис. 90

# Типы стоп

У современного человека сложилось самое плохое отношение к стопам, как у мужчин, так - и особенно - у женщин. На природе стопы человека были счастливы и свободны от всяких неудобств.

**Древняя (атавистическая) стопа** (рис. 91, вид на кости), которую ученые также называют «*pes anticus*», напоминает стопы доисторических людей с большим хватательным пальцем, способные широко контактировать с плоскостью опоры благодаря своим плюсневым костям и широко расставленным пальцам. Когда цивилизация заключила стопы в более или менее удобную обувь, они были вынуждены адаптироваться. Вмешивающаяся мода, особенно это касается женской обуви на острых и узких каблуках, просто катастрофична (рис. 92, кости стопы в туфлях на высоком каблуке). Тут появляется факт, известный под варварским названием «*hallux valgus*» (вальгизированный большой палец стопы):

- первая плюсовая кость, далеко отстоящая от второй плюсовой кости (**metatarsus varus** или **adductus**), оттеснена кнутри (в сторону пятки) так, что большой палец направлен косо кпереди и кнутри **a**;
- за этим следует **ненормальное выстояние головки первой плюсовой кости**, на уровне которой туфли, натирая, приводят к образованию экзостоза **b**, а затем и натоптыша, в народе называемого «луковицей», который может инфицироваться;
- вторая плюсовая кость отчетливо длиннее остальных, поэтому на нее приходится **основная нагрузка в конечную фазу шага**, что ведет к перегрузке и к появлению болей в области ее основания; иногда встречаются усталостные переломы;
- пятая плюсовая кость сильно отставлена кнаружи, приводит к **вальгусной деформации пятой плюсовой кости**. Она сама сильно оттеснена кнутри **c** (в сторону пятки) вместе с мизинцем;
- этот дисбаланс вскоре становится постоянным в результате укорочения капсульной связки суставов, **латерального вывиха** сесамовидных костей **d** и сухожилий мышц-сгибателей **e**, что усиливает дисбаланс;
- большой палец смещает промежуточные пальцы (рис. 93) и даже устанавливается над вторым пальцем;
- пятый палец претерпевает обратную деформацию - «**quintus varus**», что еще более уменьшает место

для средних пальцев и усиливает их **молотообразную деформацию** (рис. 94) с формированием натоптышей на подошвенной стороне межфаланговых проксимальных суставов;

- когтеобразные средние пальцы стопы придают кривизну кривизны головки плюсовых костей и опускают их, вследствие чего передняя арка становится выпуклой - **передняя выпуклость стопы**.

**В итоге** такая распространенная деформация стопы с «*hallux valgus*», молотообразными пальцами и передней выпуклостью стопы, ставит серьезные проблемы при выборе обуви и может быть скорректирована только **хирургическим путем**.

**Морфологический тип стопы** играет важную роль в развитии описанных деформаций. С художественных позиций можно выделить три типа стоп:

- **Греческая стопа** (рис. 95) характерна для классических греческих статуй. Второй палец самый длинный, за ним следуют первый и третий пальцы, имеющие почти одинаковую длину, а затем четвертый и пятый пальцы. При таком типе стопы нагрузки наилучшим образом распределяются по ее переднему отделу.
- **Стопа египтянина** (рис. 96), как мы ее видим на статуях фараонов, отличается наличием наиболее длинного большого пальца; длина всех остальных пальцев последовательно уменьшается. Это тип стопы наиболее склонен к проблемам. В обуви сравнительно длинный большой палец отодвигается латерально (*hallux valgus*) и из-за нагрузки в переднюю фазу ведет к остеоартрозу плюснефалангового сустава, создавая **hallux rigidus**.
- **Стопа полинезийца** (рис. 97), или **квадратная стопа**, изображаемая на полотнах Гогена: пальцы (по крайней мере, первые три) имеют одинаковую длину. Такая стопа не причиняет никаких проблем.

Из всего сказанного можно сделать вывод - особенно это касается женщин - следует избегать слишком узких туфель и высоких каблуков. Потому что в подобной обуви пальцы накладываются один на другой и складываются (рис. 93). Так собираются вместе все факторы для развития *hallux valgus*.

Если мы хотим извлечь мораль из всего вышеописанного, то можно перефразировать известное выражение: «**Обувь сделана для человека, а не человек для обуви**».

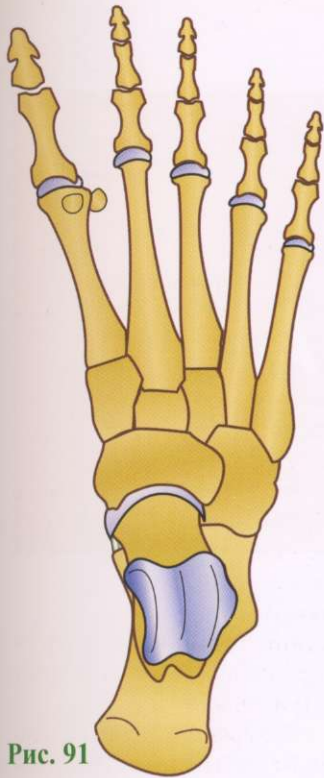


Рис. 91

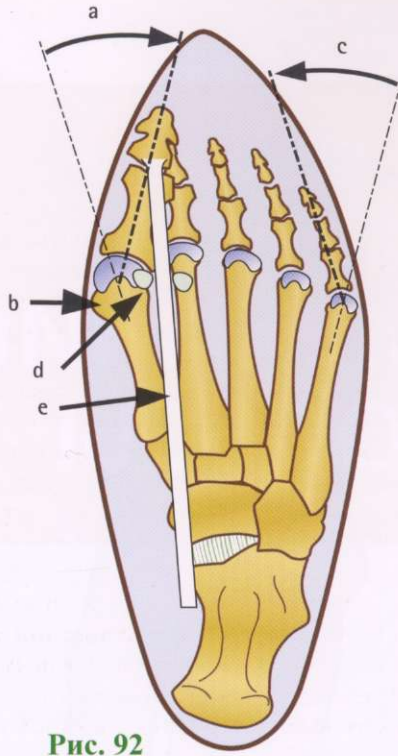


Рис. 92

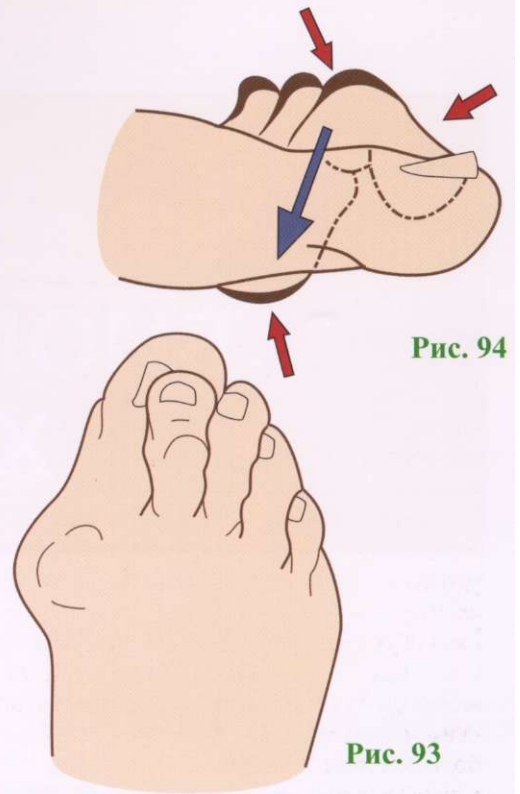


Рис. 94

Рис. 93

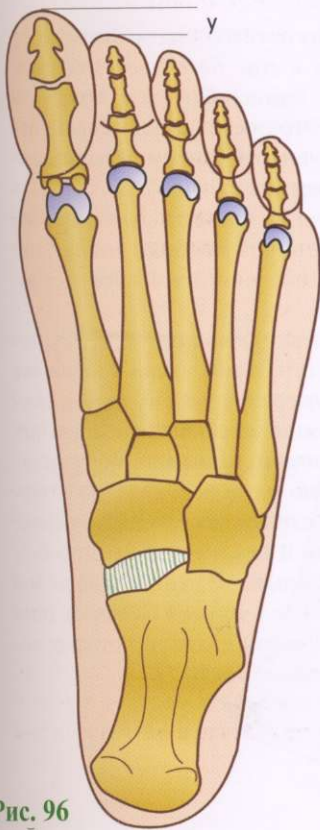


Рис. 96

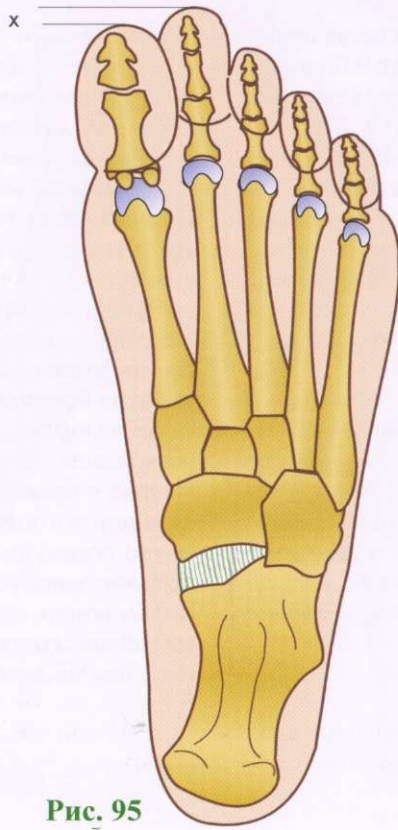


Рис. 95

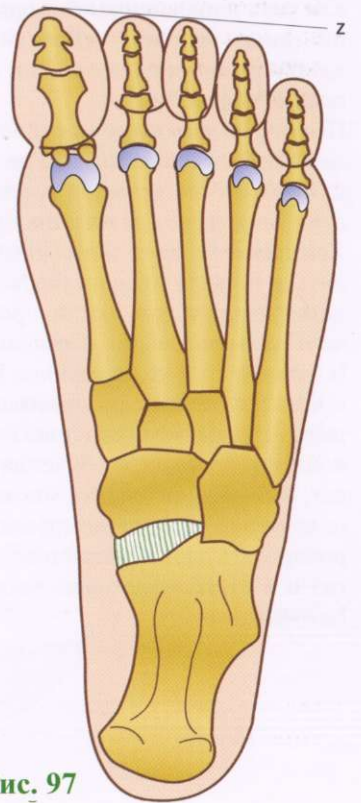


Рис. 97

## Глава 6

# БИОМЕХАНИКА ХОДЬБЫ

Как речь и письменность, ходьба на двух ногах присуща только человеку («Давид», созданный Микеланджело находится в «состоянии ходьбы»: он несет свою повязку в левой руке).

Некоторые животные могут вставать на задние лапы и даже делать несколько шагов в таком положении, но для них это не является нормальным способом передвижения, даже для высших приматов.

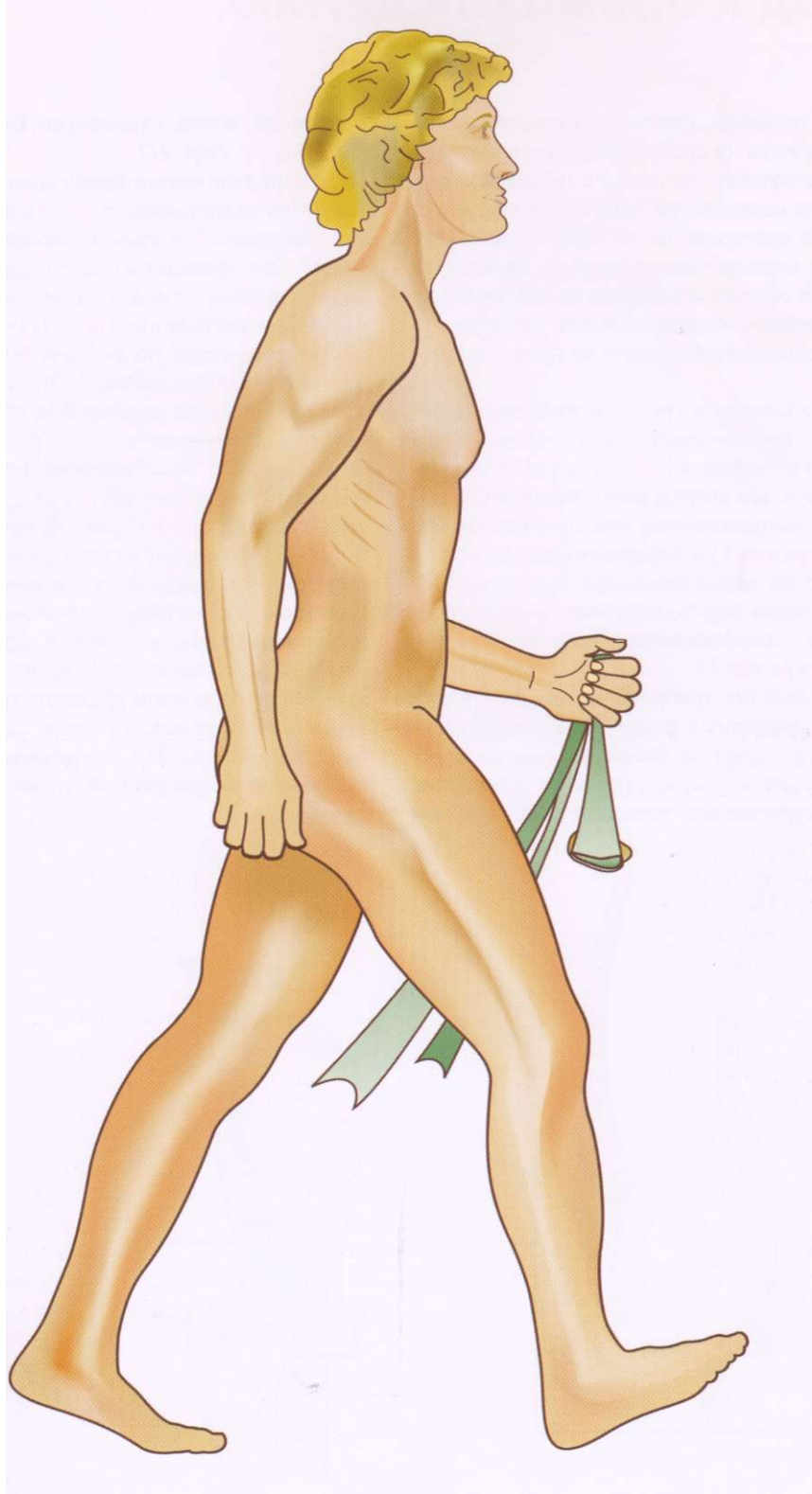
Хождение на двух ногах позволило человеку расселиться по всей планете благодаря способности покидать исторические места проживания предков - то, чего не умеют делать обезьяны.

В отличие от новорожденной газели, способной сразу после рождения самостоятельно следовать за матерью, ребенок человека проживает долгий период становления на ноги и обучения хождению на двух ногах, сопровождающийся множественными падениями (к счастью, обычно несерьезными). Ему нужно контролировать свое неустойчивое равновесие на двух ногах и в итоге *принимать падения, сопровождающие каждый шаг.*

Ходить - значит перейти из неустойчивого статичного положения на двух ногах в еще более неустойчивое динамичное положение, компенсируемое только в последний момент шага. Это постоянно повторяющееся чудо обязано своим существованием четко скоординированной нервной системе.

Передвижение на двух ногах является для человека условием и залогом его личной свободы - без этой способности он теряет автономность и становится зависимым от других людей.

Передвижение на двух ногах позволило человеку покорить различные местности, в том числе и наиболее высокие вершины гор. Благодаря своему уму и смекалке человек изобрел дополнительные средства передвижения: по земле, например, колесо, не существующее в природе, по морю и в воде и даже по воздуху, копируя птиц. Он даже стремится покорить космос, но его преимущественным и незаменимым способом передвижения остается ходьба. Именно теперь мы можем понять глубокий смысл загадки Сфинкса, поставленной Эдипу: «Кто по утрам ходит на четырех ногах, днем на двух, а вечером на трех».



## Переход к прямохождению

Дальние предки человека, триста миллионов лет назад вышедшие из воды на сушу, были четвероногими. Все позвоночные созданы по одной с человеком схеме, включая кости конечностей, и они передвигаются в горизонтальной плоскости на четырех лапах. Даже высшие приматы передвигаются по земле на четырех конечностях, хотя обитание на деревьях заставило их использовать передние конечности для лазанья, что является собой обязательную ступень на пути к прямохождению.

Этот переход был сложен и труден и требовал глубокой перестройки строения всего тела в целом.

Из четвероногого положения (рис. 1), когда позвоночник является выпуклым кверху, поднятие тела (рис. 2) обуславливается выпрямлением поясничного отдела позвоночника (**стрелка 1**) и вертикализацией крестца (**стрелка 2**). В то же время изменение положения головы для сохранения горизонтального направления взгляда приводит к передвижению кпереди затылочного отверстия (**стрелка 3**).

Вертикализация крестца требует наклона таза кзади (рис. 4 и 5), что приводит к разгибанию тазобедренного сустава. Это влечет за собой натяжение передних связок сустава и соответствующее изменение конгруэнтности суставных поверхностей: головка

бедренной кости становится неперекрытой спереди (см. рис. 71, стр. 41).

Если передние связки тазобедренного сустава I растягиваются недостаточно (рис. 4), наклон таза кзади будет неполным 2 и крестец останется наклоненным 3 на 45°. Это приведет к гиперлордозу, который скажется и на других изгибах позвоночника. Однако при достаточном растяжении (рис. 5) передних связок 4 таз отклонится кзади полностью 5 и крестец встанет в вертикальное положение 5. Это приведет к выпрямлению поясничного лордоза 6 и, как следствие, других изгибов позвоночника.

Этот процесс был хорошо изучен А. Дэлмасом (А. Delmas) (см. том III, рис. 16, стр. 27) и отражен в трех схемах (рис. 6): наклон таза кзади остался неполным а и крестец находится в горизонтальном положении, что приводит к увеличению кривизны трех позвоночных изгибов — поясничный гиперлордоз, дорзальный кифоз и шейный лордоз. В другом крайнем случае с наклоном таза кзади абсолютно полным, крестец вертикален и кривизна трех позвоночных изгибов уменьшилась. Среднее положение крестца Б, наклоненного на 45°, встречается чаще всего и сопровождается умеренной кривизной изгибов позвоночника.



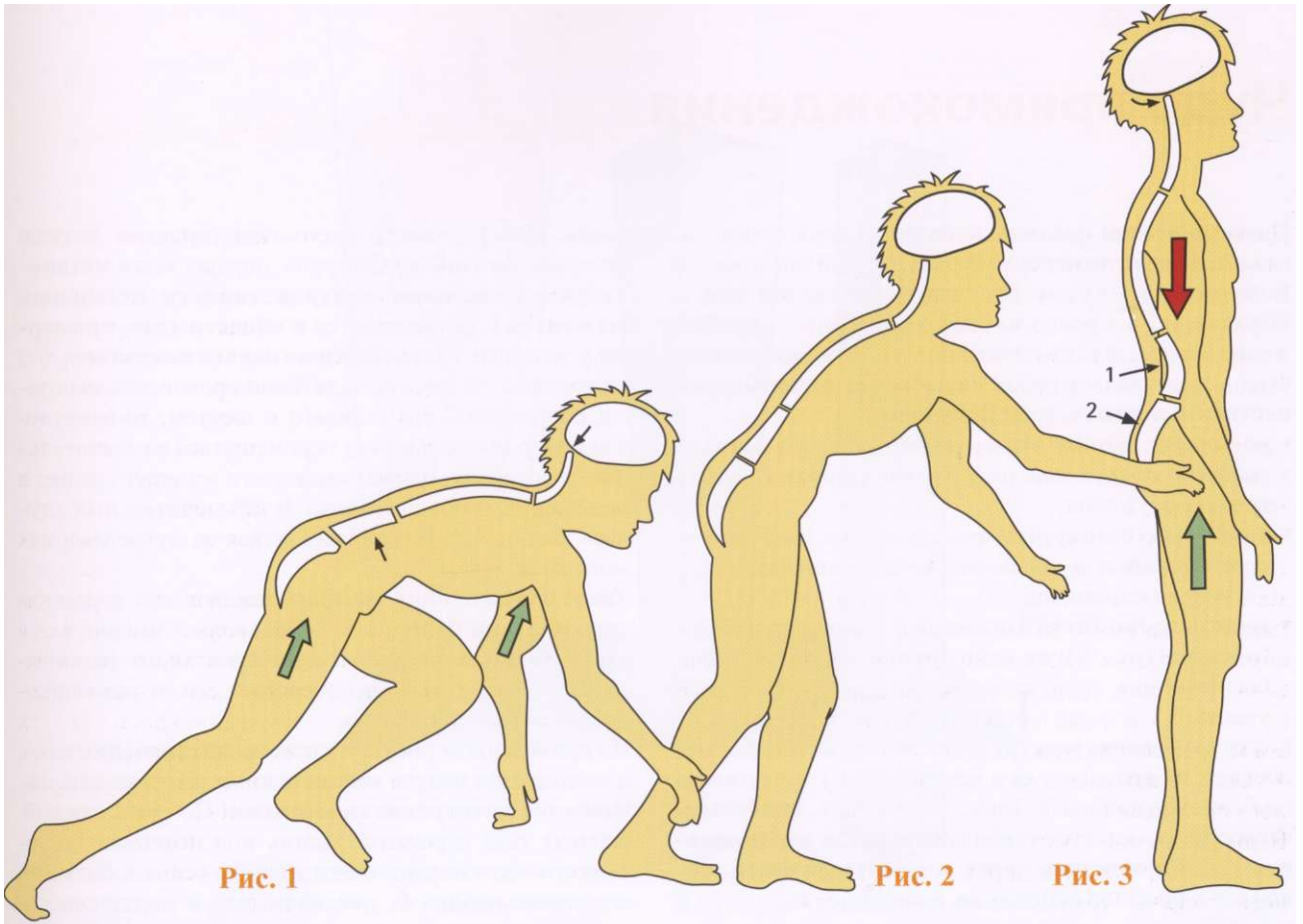


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

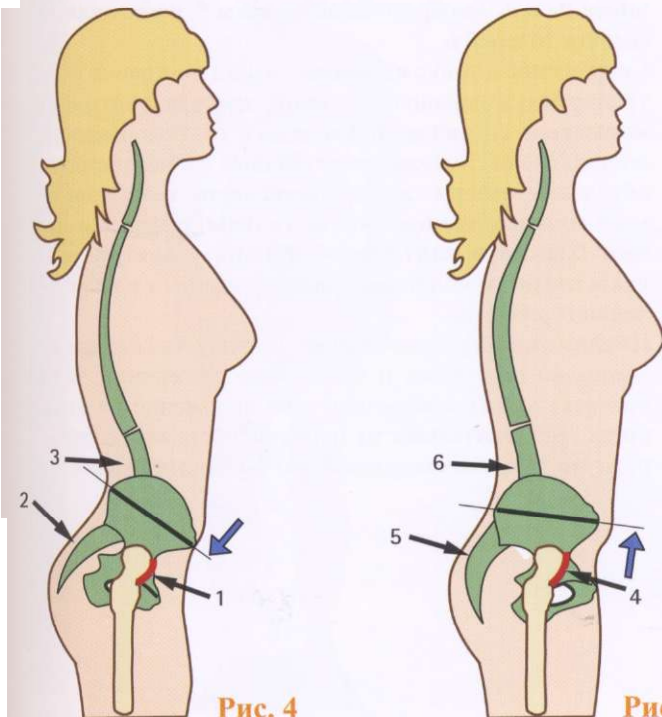


Рис. 4

Рис. 5

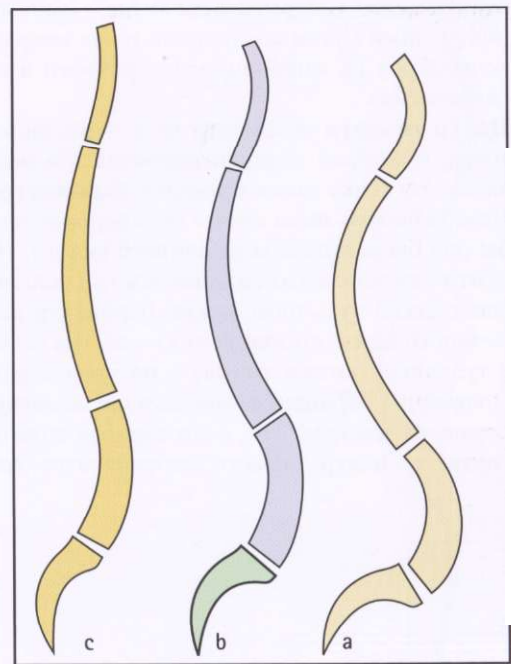


Рис. 6

# Чудо прямохождения

В механическом плане положение на двух ногах выглядит абсолютно ненормальным и с этой позиции его можно считать чудом. По сути, человеческое тело в положении стоя ровно на двух ногах (рис. 7, изображение *куроса*, позаимствованное из греческого искусства), представляет собой **сооружение выдающейся нестабильности** по трем причинам:

- во-первых, потому что *площадь основания для контакта с опорой невелика* по отношению к высоте всего сооружения;
- во-вторых, потому что *верхняя часть сооружения более широкая и объемная*, нежели нижняя, — как усеченная пирамида;
- в-третьих, потому что основание не врезано в опору (в землю) (рис. 8); ни один архитектор не построил бы подобное сооружение, неминуемо обреченное упасть.

Когда архитектор конструирует высокую башню, небоскреб, он врезывает ее в землю (рис. 9) при помощи глубокого фундамента. Такое сооружение, как человеческое тело, остается стабильным, когда **вертикальная ось, проходящая через его центр тяжести, попадает в опорное основание**, показанное на рис. 10 в виде зеленого прямоугольника, в который вписаны отпечатки стоп (опорное основание - многоугольник, полученный путем соединения точек опоры тела, находящегося на какой-либо поверхности в состоянии равновесия).

**Центр тяжести** объемного тела - это теоретическая точка, в которой сконцентрирована *вся масса этого тела*. Эту точку также называют **барицентром**.

*Каждая часть тела имеет свой барицентр*, как если бы она была отделена от единого целого. Например, центр тяжести верхней конечности (**зеленая точка**) расположен чуть ниже локтя; барицентр нижней конечности (**фиолетовая точка**) - слегка выше колена, а туловища (**синяя точка**) - на уровне эпигастрия. Положение барицентра *зависит от геометрического строения фигуры*. Так, если верхняя конечность согнута, ее центр тяжести переместится кпереди от

локтя. Центр тяжести всего тела (**красная точка**), стоящего по стойке «Смирно», определяется **механическим сложением центров тяжести отдельных сегментов** и располагается **в области таза, примерно у второго-третьего крестцовых позвонков**, т.е. на уровне 55% высоты тела. Если проследить за позой спортсмена, прыгающего с шестом, то заметно, что центр тяжести может перемещаться на значительные расстояния, однако чаще всего - вокруг среднего положения, в пределах таза. В исключительных случаях барицентр может находиться за пределами самого тела.

Такое расположение центра тяжести имеет огромное значение у женщин (рис. 11), поскольку именно в области таза вокруг этой точки происходит развитие плода, и, возможно, это оберегает его от различных потрясений.

На приведенном рисунке также видно **значение** в положении стоя **тонуса мышц осанки**, которые еще называются **антигравитационными**. По сути, каждый сегмент тела стремится упасть под действием силы тяжести, чего не допускают мышцы осанки: большая ягодичная мышца 1, поясничные 2 и дорзальные 3 окологривничные мышцы, мышцы задней поверхности шеи 4, четырехглавые мышцы 5 и трехглавые мышцы голени 6.

Сокращение и тонус названных мышц постоянно контролируются нервной системой, которая учитывает множество сигналов, приходящих от подошвенной опорной зоны, положение различных сегментов тела, объединяя информацию в **общую схему тела**; принимает во внимание **положение головы**, о котором узнает благодаря **улитковому аппарату** внутреннего уха и **глазным яблокам**, ориентированным в направлении горизонта...

Именно *благодаря постоянным уточнениям действий мышц*, во всех позах и при любых движениях, тело человека может обеспечить свое положение на двух ногах. Без бдительности нервной системы тело бы рухнуло, и прямохождение было бы невозможным.



Рис. 7

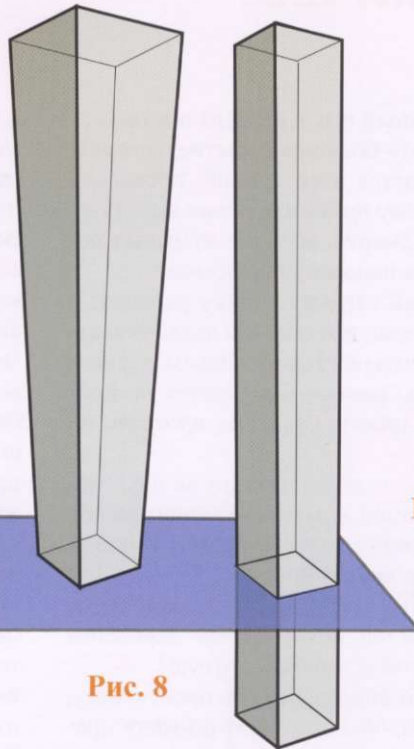


Рис. 8

Рис. 9

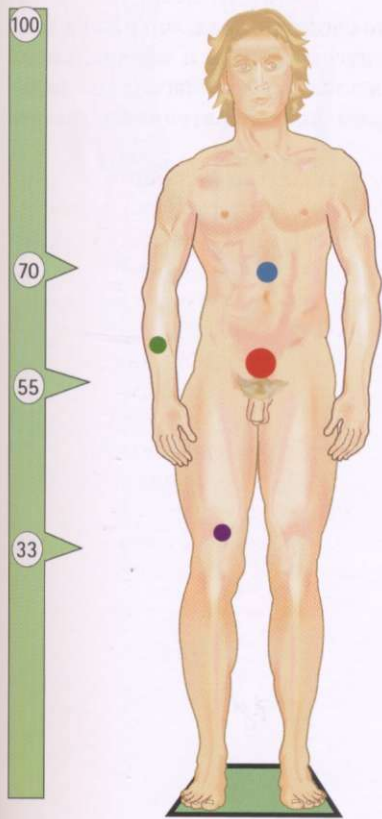


Рис. 10

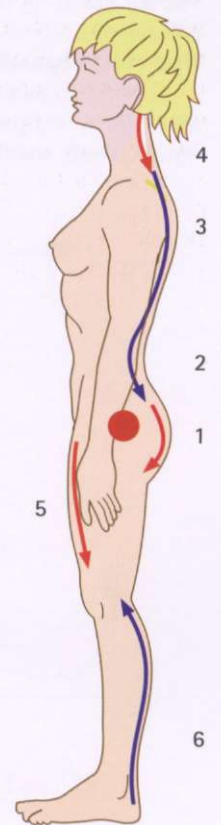


Рис. 11

# Начальный шаг

Не нужно путать начальный шаг с первым шагом...

Первый шаг ребенка — это большое событие, которое, как и положено, отмечается всей семьей, поскольку *даст начало всему периоду прямохождения* вплоть до серьезной болезни или смерти, которые приводят человека в горизонтальное положение навсегда.

Когда один из родителей отпускает руку ребенка, и он делает свой первый шаг, это обычно заканчивается падением, которое затмевается чудесным первым шагом, т.е. *тем шагом, который является точкой отсчета всей ходьбы, можно сказать, прогулки по жизни*.

По сути, в положении стоя симметрично на двух ногах вес тела распределяется в равной степени на обе конечности, что делает невозможным поднятие одной из них для продвижения другой вперед.

Таким образом, начальный шаг ставит проблему перераспределения нагрузки на ноги: нужно перенести вес тела на одну ногу, чтобы поднять другую!

Обычно правши выносят вперед сначала правую ногу, так же как и футболисты-правши бьют по мячу правой ногой.

При этом **первый период начального шага** (рис 12, вид спереди) включает смещение таза в сторону несущей ноги, например левой. Благодаря сокращению приводящих мышц левой ноги 1, таз смещается влево

2, одновременно малая и средняя ягодичные мышцы слева 3, сокращаясь, приподнимают правую половину таза 4. Так центр тяжести смещается влево 5, а правая нога больше не нагружена весом тела.

Во **втором периоде начального шага** (рис. 13, вид сбоку) сокращение левых седалищно-бедренных мышц 6 выносит таз кпереди 7, выводя тело из равновесия, что влечет некоторое западание его кпереди. Это движение контролируется сокращением трехглавой мышцы голени слева 8, которая ограничивает сгибание левого голеностопного сустава. Одновременно сгибатели бедра правой конечности 9 продвигают правое колено вперед, а сгибатели правого голеностопного сустава 10 поднимают уже приподнятый носок правой стопы. Поднятие носка очень важно, поскольку это не позволяет ему зацепиться за пол, что помешало бы дальнейшему продвижению и повлекло бы падение. При параличе мышц-сгибателей голеностопного сустава человек не может поднять носок стопы, что приводит к **петушиной походке** («степпаж» от англ. «steppage»).

Таким образом, можно сделать вывод, что у взрослого человека ходьба всегда начинается с **изначального западения**, вызванного начальным шагом. Это **незаменимое начало серии последовательных шагов, т.е. ходьбы**.

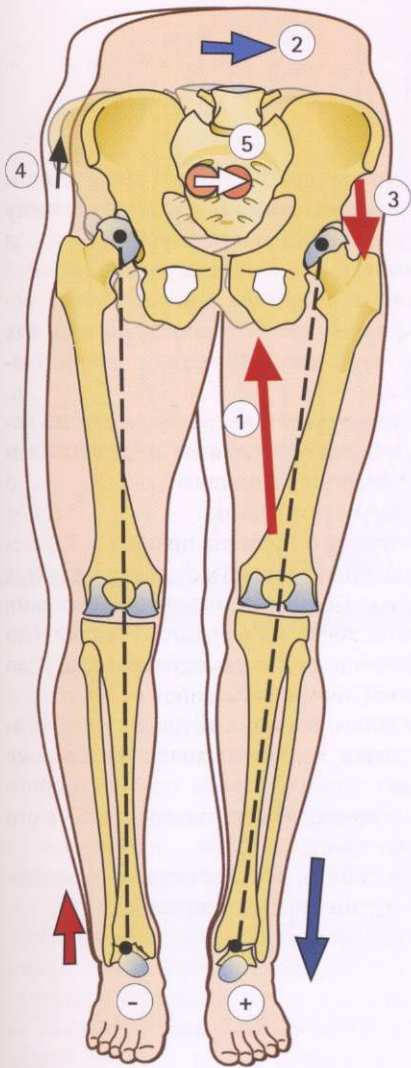


Рис. 12

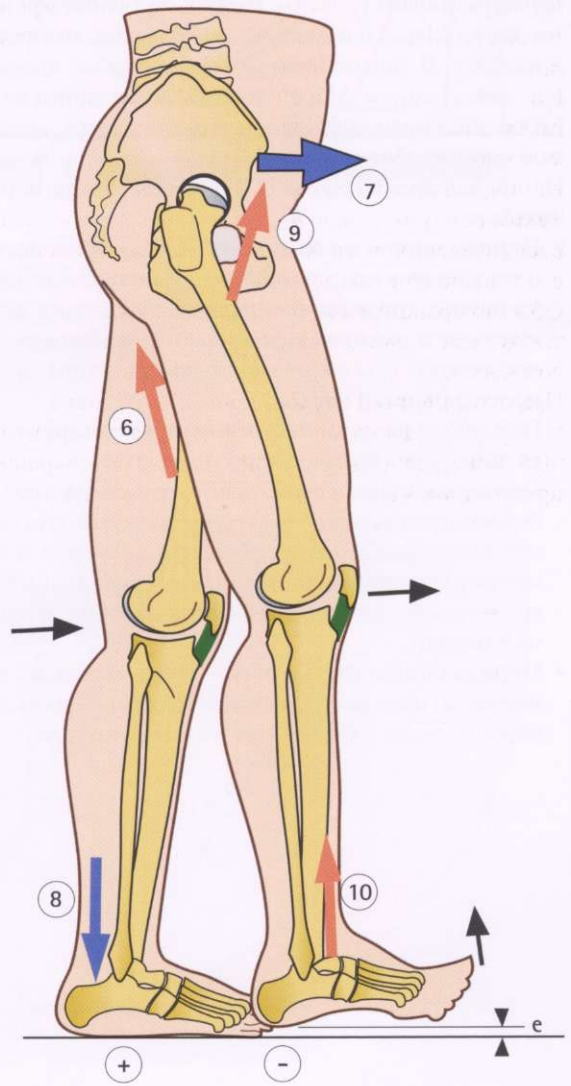


Рис. 13

# Колеблющийся шаг

Западение вперед, вызванное начальным шагом, является началом **периода опоры на одну ногу**, в течение которого другая конечность переместится вперед, чтобы избежать падения. Эта конечность, перемещающаяся вперед, и есть **колеблющаяся конечность**. Она осуществляет **шаг вперед** - основной механизм ходьбы... Нужно отдать должное французскому физиологу **Этьену Жюлю Маре** (Etienne Jules Marey), который первым в конце XIX века *зарегистрировал различные периоды ходьбы* (рис. 14, график на основе хронофотографии Маре) с помощью *фоторужья*, которое сам и изобрел. В дальнейшем фоторужье стало *прототипом видеокамеры*. Маре также является одним из пионеров кинематографа и хронофотографии, называемой еще **стробоскопия**.

На приведенных графиках четко видны **два периода ходьбы**:

- **Период опоры на одну ногу А**, в который несущая нога касается пола пяткой, затем перемещается сзади вперед, тогда как шаг развивается вплоть до двигательного толчка, вызванного разгибанием голеностопного сустава, затем пальцев стопы, в частности большого пальца;
- При опоре на одну ногу происходит **колеблющийся шаг В**, во время которого *ненесущая нога перемещается сзади вперед* благодаря сгибанию тазобедренного сустава. Она *укорачивается из-за сгибания коленного и голеностопного суставов* и стремится в сторону опорной поверхности (пола), чтобы коснуться ее пяткой и избежать падения в последний момент.
- **Период опоры на две ноги** - очень короткий, начинается до того, как задняя несущая конечность оторвется от пола, в конце двигательного толчка.

Колеса не существуют в природе, но мы можем представить нижние конечности как радиусы **двух своеобразных колес с изменяющимся радиусом**:

- **Несущая конечность** (рис. 15, диаграмма несущей конечности) является радиусом одного из колес, которое *вытягивается во время своего вращения при опоре на плоскость*, с последним удлинением двигательного толчка;
- **Колеблющаяся конечность** является радиусом колеса, которое *укорачивается при перемещении вперед*, чтобы стать вновь несущим.

Анализ этой диаграммы показывает:

- **Первая часть несущего периода** точки **1** и **2**, в течение которого несущая конечность, перемещаемая вперед двигательным толчком, поворачивается вокруг фиксированной точки на плоскости опоры. Переходя в вертикальное положение, бедренный сустав достигает своей *первой вершины*,
- Вторая часть несущего периода, когда легкое сгибание конечности точка **3** подготавливает разгибание коленного сустава точка **4**, затем голеностопного сустава точка **5**, и приводит бедренный сустав в его кульминационную точку.

**Таким образом, ходьба - это последовательность контролируемых и избегаемых падений.**

Эти два альтернативных колеса приходят в контакт с плоскостью опоры только ограниченными участками и с помощью ориентации стопы благодаря подтаранному суставу, позволяющему ноге адаптироваться ко всем неровностям плоскости опоры. Эти два колеса не нуждаются в единой непрерывной поверхности, т.е. им не нужна дорога, что позволяет человеку успешно передвигаться по пересеченным местностям и даже по вершинам гор!

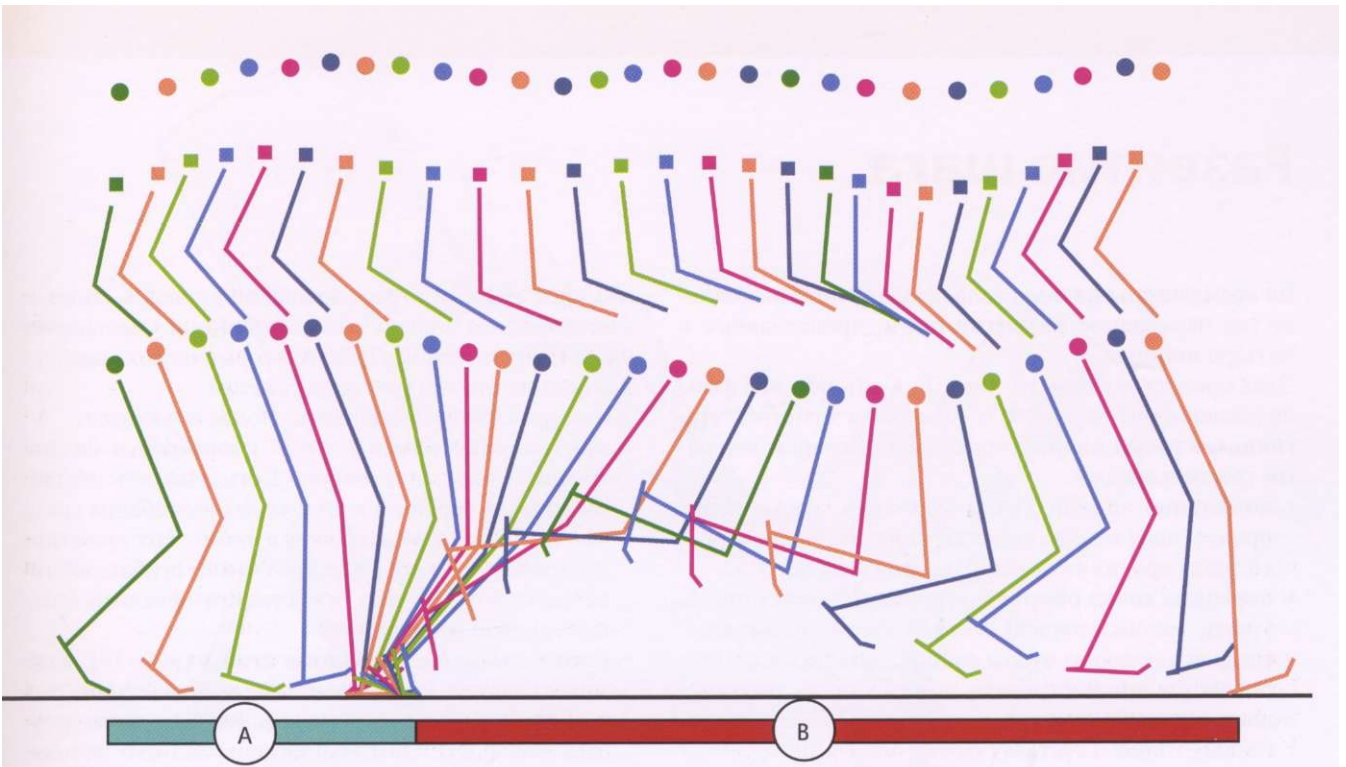


Рис. 14

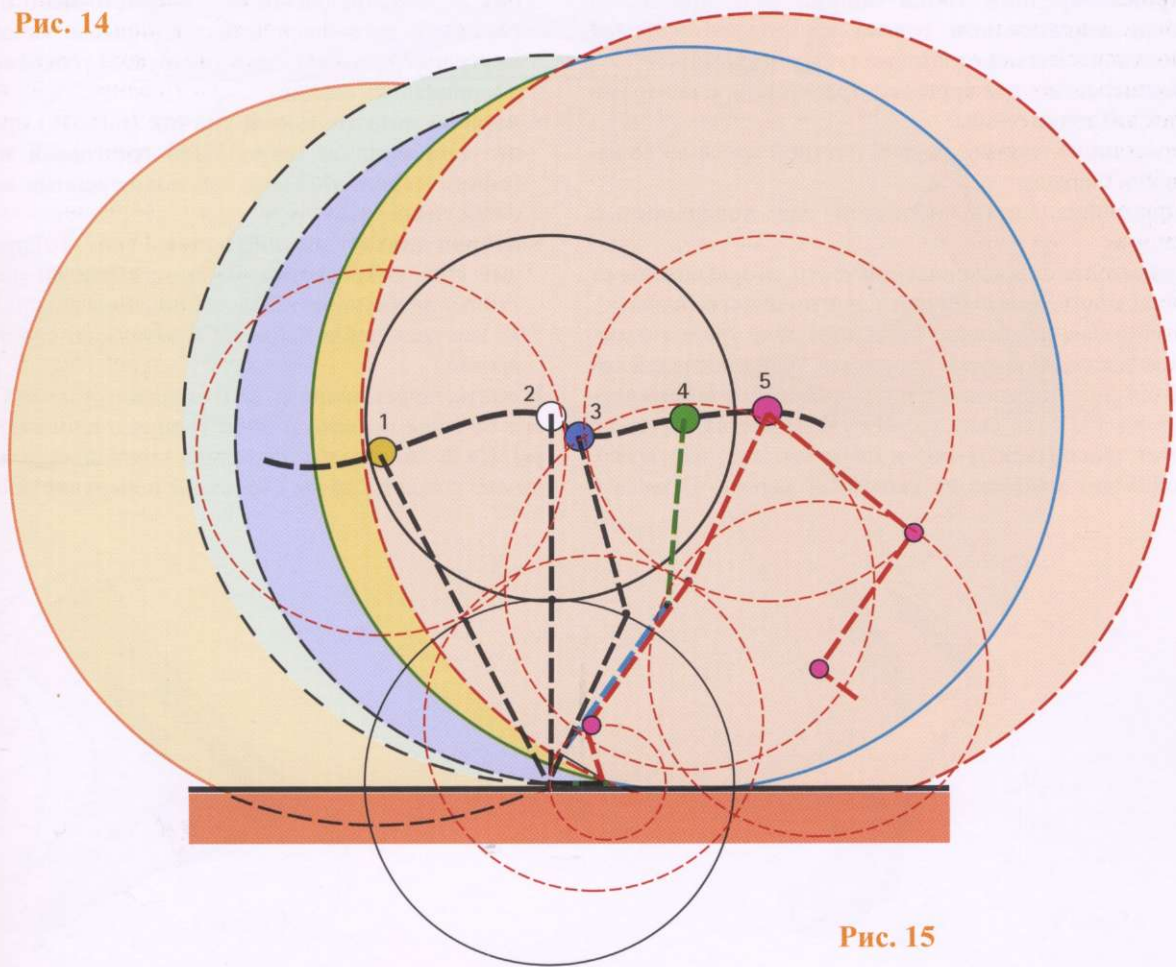


Рис. 15

# Развитие шага

Во время **опоры на пол** стопы несущей ноги выполняет так называемое **развитие шага**, происходящее в **четыре периода**.

Этот процесс показан на рис. 16, в котором все фазы наложены друг на друга, и мы можем отметить **три главные точки опоры** стопы, изображенные черными треугольниками:

- **начальная задняя точка контакта**, когда пятка, приведенная в действие всей кинетической энергией тела (**красная стрелка**), касается пола;
- **передняя точка опоры** внутреннего свода стопы на уровне головки первой пястной кости достигается, когда вся подошва стопы распластана по плоскости опоры (**зеленая стрелка**) и когда стопа получает двигательный толчок, созданный разгибанием голеностопного сустава (**синяя стрелка**);
- **крайнепередняя точка опоры**, куда приложена сила двигательного толчка вследствие сгибания большого пальца стопы (**желтая стрелка**).

Также отметим три круговые траектории, с центрами в каждой точке опоры:

- траектория головки первой пястной кости до ее касания с полом;
- траектория пятки, поднятой над поверхностью опоры;
- траектория головки пястной кости, оторвавшейся от пола вследствие конечного двигательного толчка.

Обычно благодаря силе тяжести и силе трения о шероховатости плоскости опоры эти точки контакта остаются фиксированными по отношению к поверхности пола. Но если сила трения уменьшается, пятка не может зацепиться за пол и скользит. Так, например, происходит падение на скользкой дороге. Отметим,

что сила тяжести играет важнейшую роль в опоре, и отсюда ходьба сильно затрудняется при уменьшении силы тяжести, как на Луне. А в космических кораблях полностью отсутствует сила тяжести...

Детальный анализ четырех периодов показывает:

- приземление пятки (рис. 17) тормозится силами трения о плоскость опоры. Согнутый голеностопный сустав перейдет в положения разгибания сразу, как подошва стопы коснется пола. Это движение контролируется сокращением мышц сгибателей голеностопного сустава, в частности передней большеберцовой мышцы **Т-а**;
- **распластывание подошвы стопы** (рис. 18), даже можно сказать - раздавливание подошвенного свода, на который приходится весь вес тела, когда несущая конечность перемещается из заднего положения в переднее. Сгибание голеностопного сустава осуществляется мышцами сгибателями. Уплотнение внутреннего свода амортизируется сокращением подошвенных мышц;
- **первый двигательный толчок** (рис. 19) происходит при мощном сокращении трехглавой мышцы (**синяя стрелка**), тогда как подошвенные мышцы сопротивляются;
- **второй двигательный толчок 1** (рис. 20) происходит при сокращении мышц-сгибателей пальцев стопы, особенно сгибателя большого пальца **f**, тогда как трехглавая мышца **Т** продолжает свое сокращение.

И опять, эффективность двигательного толчка **О** зависит от силы тяжести и силы трения о плоскость опоры. Сила двигательного толчка уменьшается или исчезает вовсе в случае скользкой поверхности опоры.



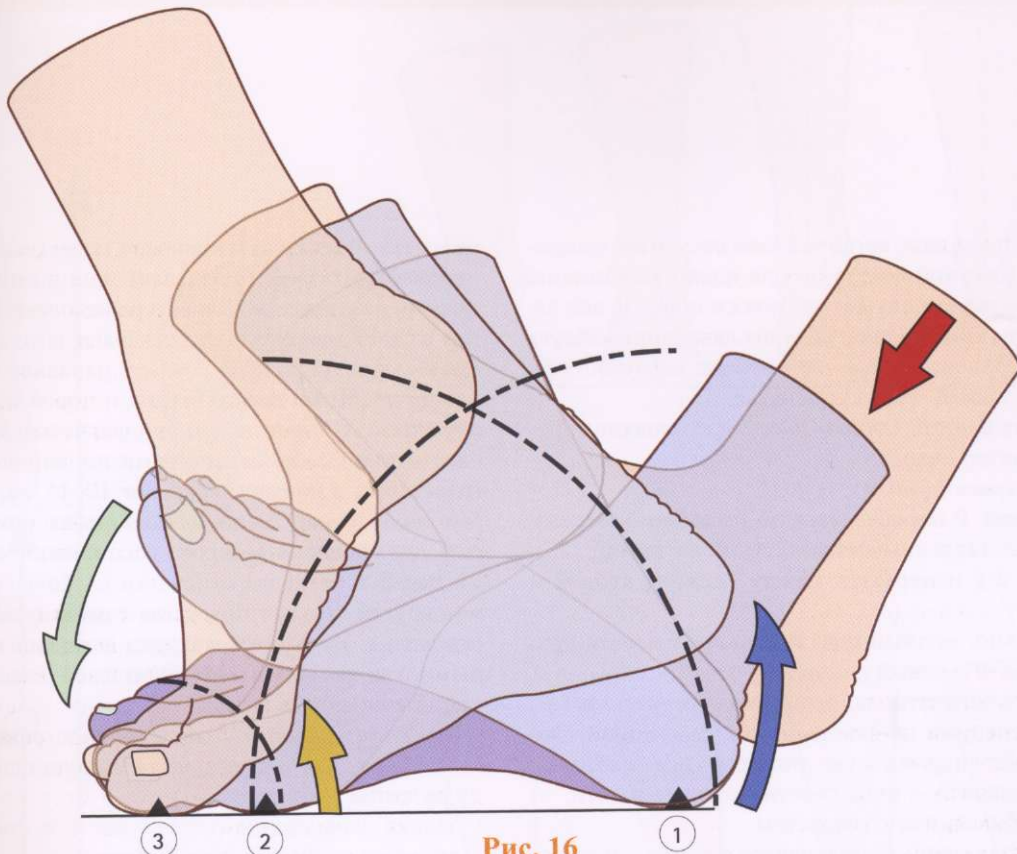


Рис. 16

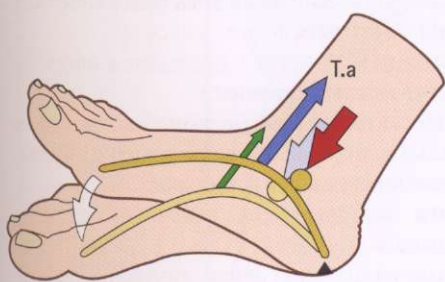


Рис. 17

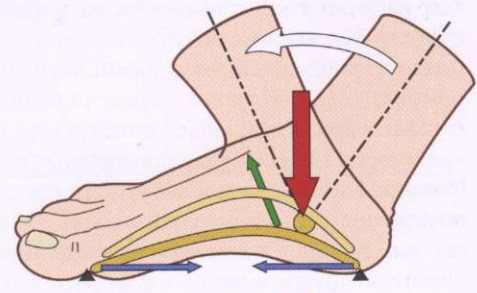


Рис. 18

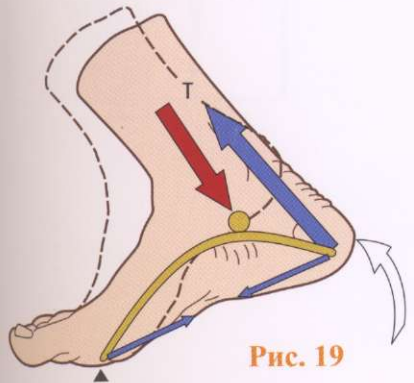


Рис. 19

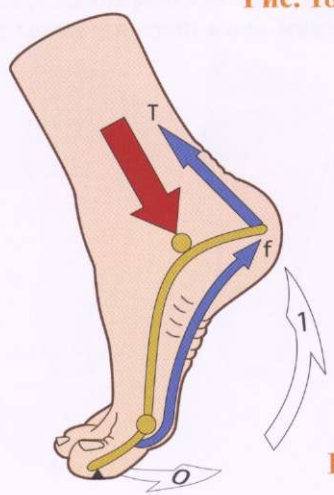


Рис. 20

# Шаг

Шаги хорошо видны, когда человек наступает мокрыми ногами на сухой пол, гуляет по пляжу или идет по снегу. В последнем случае мы можем оценить вес человека по **глубине следа** и силу вколачивания каблука или двигательного толчка — по глубине вогнутостей в передней и задней частях отпечатка.

Последовательность следов (рис. 21) позволяет определить характер походки.

На прямой траектории **R**:

- Полный шаг **P** определяется по расстоянию между следами, оставленными одной и той же ногой;
- Полушаг **d-g** измеряется между следами правой и левой ног.

Следовательно, полный шаг **P** включает в себя правый полушаг **d** и левый полушаг **g**.

Ось каждого отпечатка подошвы образует **угол в 15°**, открытый кнаружи по отношению к траектории. Это характеризует нормальную походку, но некоторые люди «косопяпят» - в частности маленькие дети, от чего они избавляются с возрастом.

Хождение по кривой **C** получается в связи с поворотом всей нижней конечности на уровне бедренного сустава. На данном рисунке поворот траектории направо начался с действия мышц наружных ротаторов правого бедра, которые определили поворот правой ступни наружу (зеленый отпечаток). Если поворот траектории вправо будет продолжаться, то на этот раз поворот кнутри левого бедренного сустава приведет к внутренней ротации левой стопы. За два полушага полный поворот **г** измеряется сложением правого поворота кнаружи и левого поворота кнутри, которые происходят на уровне тазобедренных суставов.

**Характеристики шага** индивидуальны для каждого

человека. **Размер шага** зависит, естественно, от роста человека, который определяет длину нижних конечностей, но также и от характера человека. Каждый ходит в своей манере, даже есть шаги, которые мы узнаем на слух. Хромота создает неравное расстояние между правым и левым шагом, и порой мы узнаем на слух хромоту, прежде чем увидим человека.

Расстояние между отпечатками по отношению к оси траектории в норме составляет 10-15 см, но некоторые люди с нарушением равновесия или при алкогольном опьянении широко расставляют ноги во время ходьбы, оставляя отпечатки на большом расстоянии друг от друга, чтобы *увеличить площадь опорного основания*. Некоторые походки являются искусственными, как на показе мод, когда шаги расположены на самой траектории пути.

Отпечатки подошв иллюстрируют развитие шага (рис. 22, каждая колонка соответствует одному периоду развития шага):

- задняя закругленная поверхность **a** соответствует опоре на плоскость опоры пяткой;
- подошва стопы расположена на всей поверхности **b**, и даже пальцы заметны;
- первый двигательный толчок **c** приводит к опоре на переднюю часть стопы и пальцы;
- затем наступает второй двигательный толчок **d**, с опорой на пальцы, особенно с внутренней стороны, в связи с положением стопы в эверсии;
- развитие шага заканчивается конечным толчком большого пальца **e**.

Этот анализ отпечатков стоп очень показателен при нарушениях походки, чтобы выявить мышечную недостаточность.

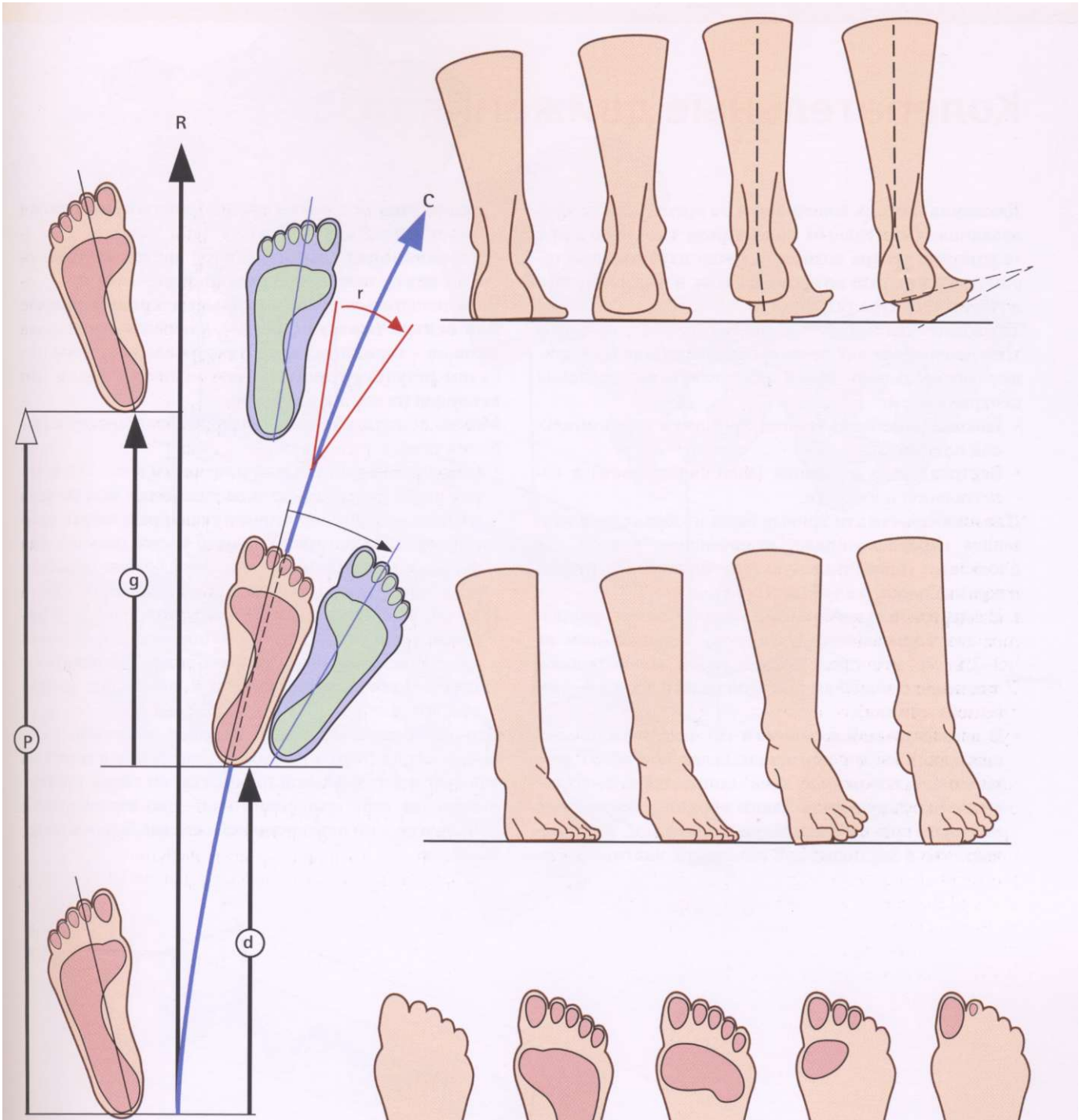


Рис. 21

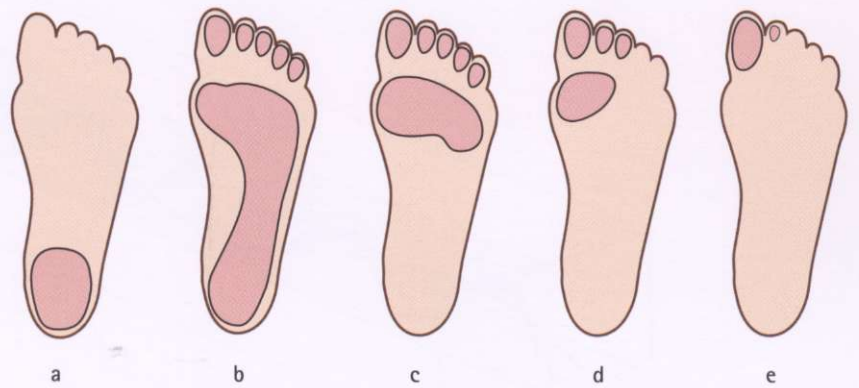


Рис. 22

# Колебательные движения таза

Движения нижних конечностей во время ходьбы проявляются обязательным **колебанием таза**. Благодаря телеметрии теперь возможно точно изучить траектории движения тела во время ходьбы, в частности таза и главного центра тяжести.

Таз колеблется в двух плоскостях (рис. 23, график в трех измерениях в объемном параллелепипеде) и кривые представляют собой составляющие движения центра тяжести:

- Боковые колебания (**синяя кривая**) в горизонтальной плоскости;
- Вертикальные колебания (**красная кривая**) в сагиттальной плоскости.

Для наглядности эти кривые были изображены в объемном параллелепипеде, включающем в себя две плоскости: горизонтальную (**светло-желтого цвета**) и вертикальную (**голубого цвета**):

- В **горизонтальной плоскости** при каждом полушаге таз перемещается *в сторону несущей ноги* на 2—2,5 см, что представляет собой колебательное движение с общей амплитудой целого шага в 4-5 см (**синяя кривая**);
- В **вертикальной плоскости** таз находится на максимальной высоте *при переходе несущей ноги в вертикальное положение*, и на минимальной высоте - в колебательную фазу. Таким образом, для каждого полушага есть свой минимум и максимум. Это означает, что в вертикальной плоскости **частота коле-**

**баний удваивается по сравнению с горизонтальной плоскостью;**

- **Вертикальная амплитуда** этой кривой составляет 5 см между наивысшей и низшей точками.

Если попытаться создать **реальную кривую движений центра тяжести** (рис. 24), учитывая две составляющие - горизонтальную и вертикальную, - мы получим **результатирующую (темно-синего цвета)**, показанную на том же рисунке.

Можно попытаться представить в пространстве колебания таза:

- Сначала в **вертикальной плоскости** (рис. 25): в левой части рисунка показаны колебания таза во время полного шага, но чтобы лучше представить себе эти волны, обратимся к *правой части рисунка, где фигурируют колебания при двух полных шагах с удаленным каждым третьим положением*;
- Затем, в **горизонтальной плоскости** (рис. 26), рисунок становится понятнее, поскольку колебания здесь представлены в два раза реже. Таз показан в трех положениях: правый шаг **d**, левый шаг **g**, правый шаг **d**.

Это не показывает общей картины движений таза, поскольку, несмотря на свои перемещения в горизонтальной и вертикальной плоскости, он также претерпевает два типа вращений: одно - по вертикальной оси, другое - по переднезадней оси, как будет показано далее.

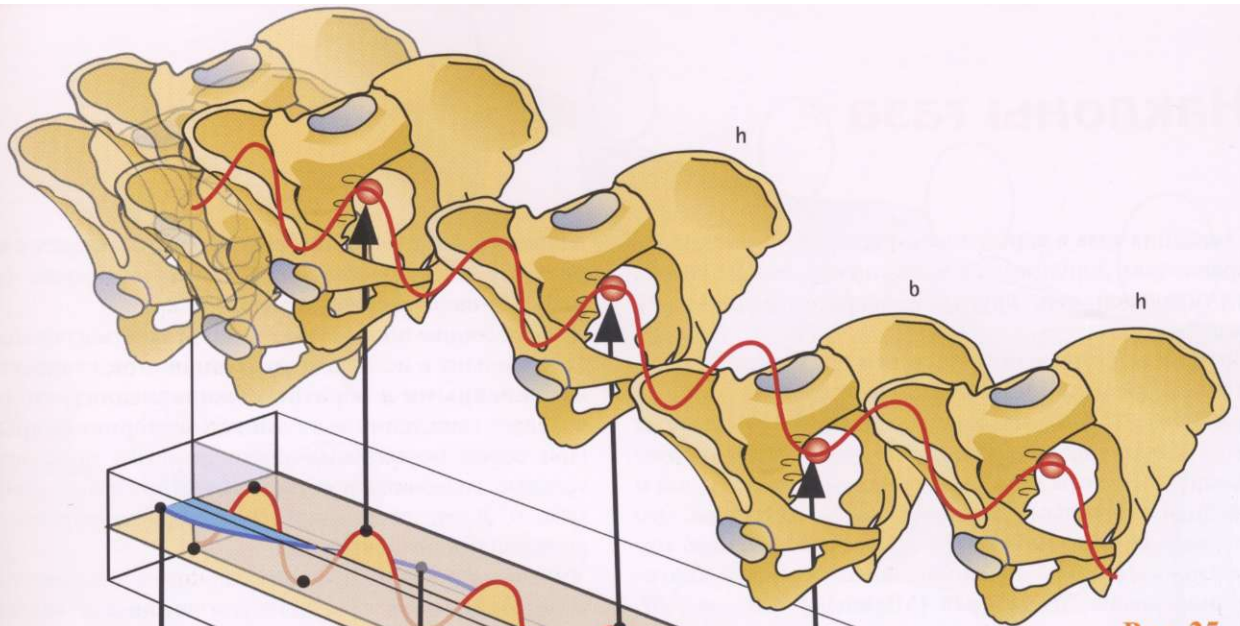


Рис. 25

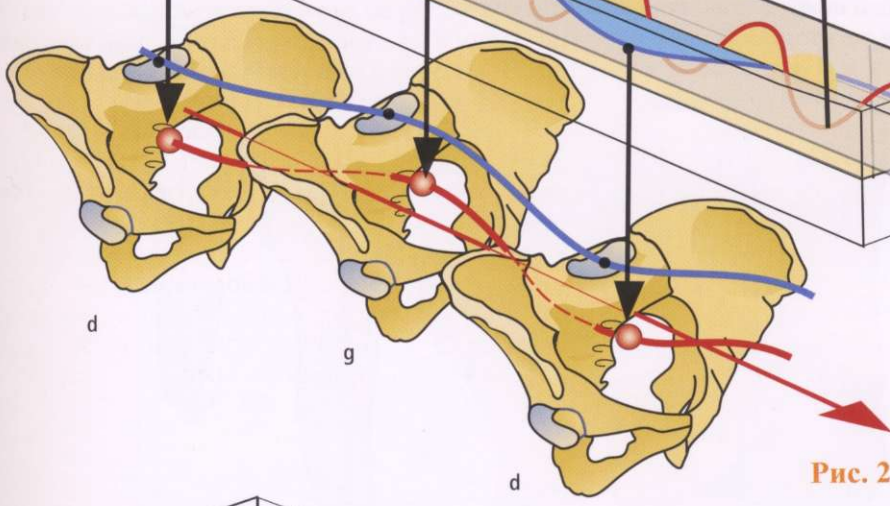


Рис. 23

Рис. 26

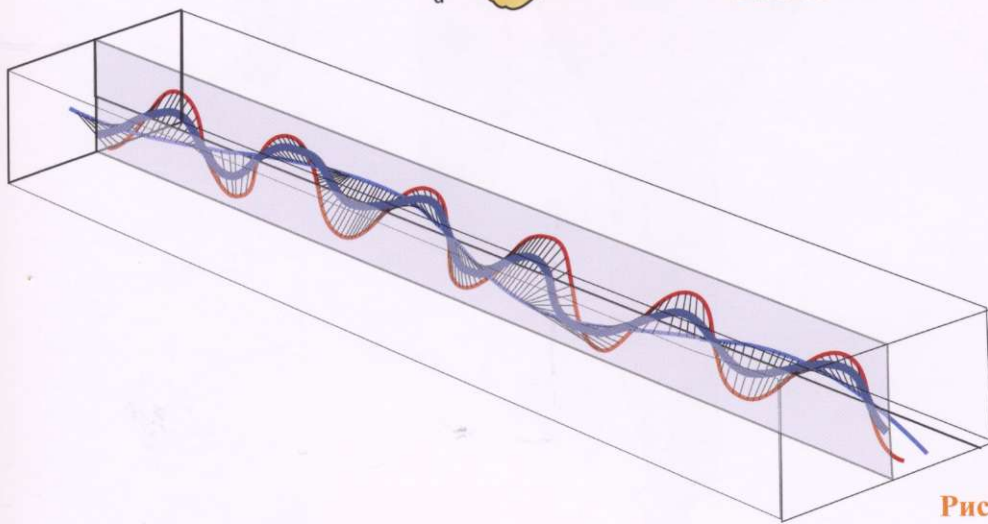


Рис. 24

## Наклоны таза

Смещения таза в вертикальном и горизонтальном направлениях дополняются вращениями, одним вокруг вертикальной оси, другим - вокруг переднезадней оси.

**Вращение по переднезадней оси** наклоняет таз движением, схожим с бортовой качкой корабля (рис. 27, последовательные шаги, вид со спины). При опоре на одну сторону *противоположная сторона таза опускается*, несмотря на торможение, вызванное малой и средней ягодичными мышцами несущей стороны. Это качание заметно по *наклону линии, соединяющей две крестцовые ямки*. Эта линия является **малой диагональю ромба Михаэлиса (Michaelis)** (см. том III, стр. 95, рис. 76 и 78). Наклон крестца в сторону разгруженной стороны влечет за собой **наклон поясничного отдела позвоночника** в ту же сторону, вследствие чего произойдут изменения и в дорзальном и

шейном отделах позвоночника. Все это приведет к **обратному наклону плечевого пояса - опущению плечевой линии на несущей стороне**.

В итоге линии плеч и таза, которые горизонтальны и параллельны в исходном положении стоя, становятся **наклоненными в обратных направлениях**, что определяет **схождение этих линий на стороне опоры**. При серии нормальных шагов заметны последовательные колебания в обратных направлениях линий таза и плеч, сопровождающиеся волнообразными движениями позвоночника.

Это явление показано на схеме (рис. 28), где представлено **развитие в пространстве движений тазовой линии**. Она формирует некую развешивающуюся по ветру ленту в соответствии с последовательными наклонами. Таким же образом линия плеч образует развешивающуюся ленту, но с наклонами в *обратную сторону*.



Рис. 27

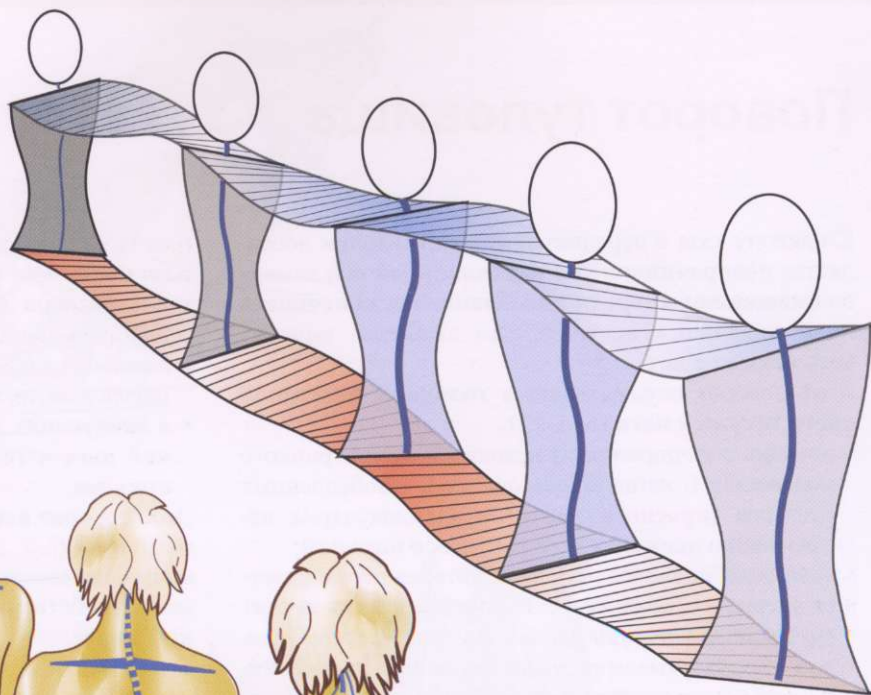


Рис. 28

## Поворот туловища

К наклону таза в переднезаднем направлении добавляется **поворачивание по вертикальной оси** в связи со **смещением кпереди колеблющейся конечности** по отношению к несущей. Это движение выносит весь таз кпереди.

Этот поворот осуществляется **головкой бедренной кости несущей ноги** (рис. 29):

- движение начинается из исходного симметричного положения I, когда общая ось двух тазобедренных суставов (**красного цвета**) перпендикулярна направлению движения всего тела (оси походки);
- если колеблющаяся нога - та, которая перемещается вперед - правая, то таз II поворачивается за счет *внутренней ротации головки бедренной кости в левом тазобедренном суставе*, тогда как *головка бедренной кости правого тазобедренного сустава подвергается наружной ротации*;
- во время следующего шага III происходит обратное: таз поворачивается кнутри на головке правой бедренной кости несущей ноги, и перемещение кпереди колеблющейся конечности приводит наружной ротации головки левой бедренной кости.

Одновременно из-за **автоматического колебания верхних конечностей** (см. след. стр.) продвижение вперед верхней конечности на несущей стороне

(рис. 30) приводит в движение плечевой пояс, и линия плеч принимает **обратный наклон**:

- в положении А плечевая линия наклонена по отношению к линии таза, так как *левая верхняя конечность продвигается вперед*, а *правая нижняя конечность является колеблющейся*;
- в следующих положениях В, С и D, наклоны линий плеч и таза меняют направления в обратные стороны.

Этот **поворот всего туловища** можно изобразить схематически (рис. 31), показав плечевую и тазовую линии, соединенные общей плоскостью, скрученной вокруг собственной оси, которая похожа на **латинский нарус**.

Таким образом, ходьба заставляет двигаться все тело в целом. Только голова остается относительно стабильной благодаря фиксированному взгляду в направлении цели; она осуществляет только компенсаторные вращательные движения на уровне шейного отдела позвоночника. Голова подвергается небольшим **колебаниям в вертикальном направлении**, параллельным вертикальным смещениям таза, но ее движения амортизированы, однако не настолько хорошо, чтобы человек мог осуществлять стабильный «*travelling avant*» (видеосъемка с движения) с камерой в руке...



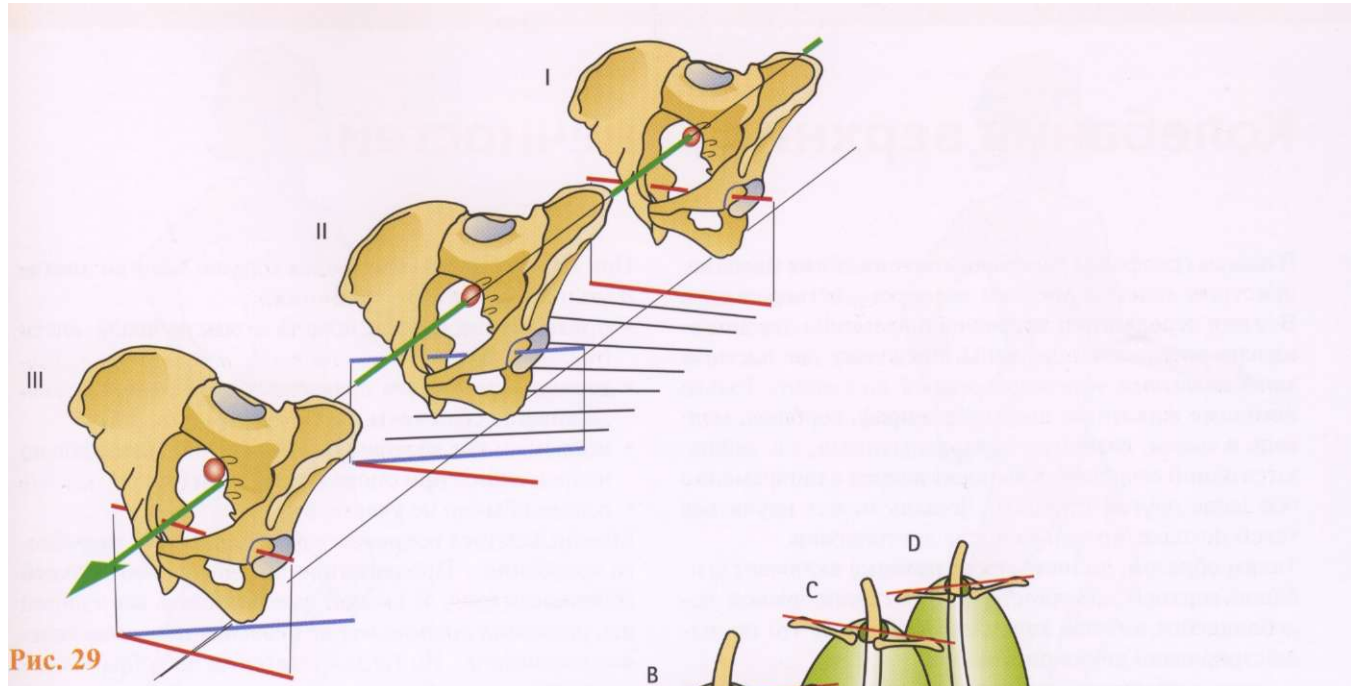


Рис. 29

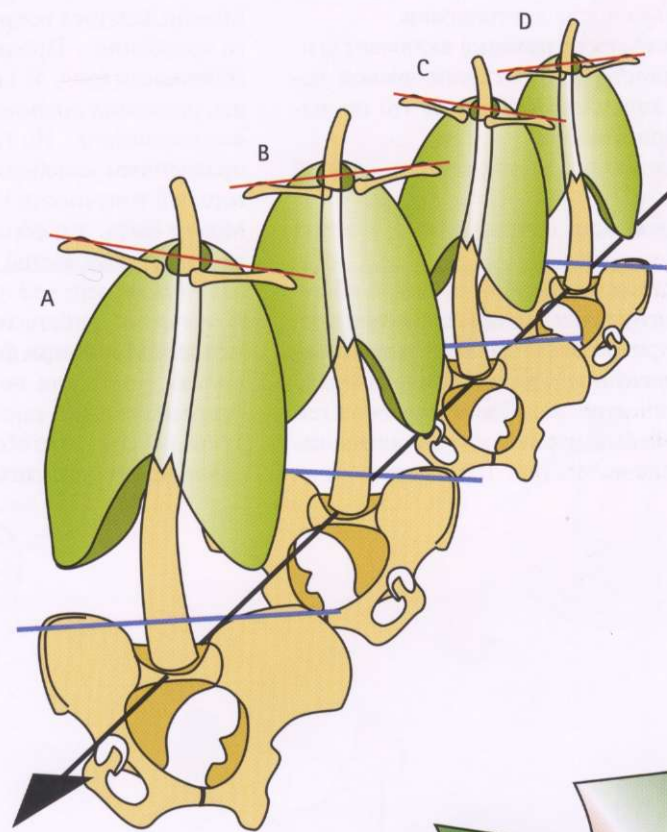


Рис. 30

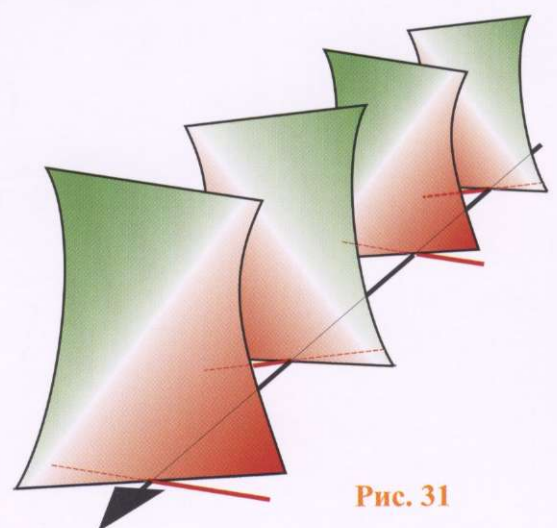


Рис. 31

# Колебания верхних конечностей

В нашем генофонде заложена **диагональная походка**, присущая далеким предкам человека - четвероногим. Все они передвигают вперед одновременно две диагонально расположенные лапы, поскольку *две несущие лапы являются уверенной опорой туловищу*. Только немногие животные, например жираф, верблюд, медведь и окапи, являются парнокопытными, т.е. опираются одной стороной, а выносят вперед одновременно обе лапы другой стороны. Лошадь может научиться такой походке, но только после дрессировки.

Таким образом, **человеческая походка** включает сгибание верхней конечности на противоположной колеблющейся нижней конечности стороне, что проиллюстрировано двумя рисунками:

- левая верхняя конечность одновременно с правой ногой (рис. 32);
- правая верхняя конечность одновременно с левой ногой (рис. 33).

Это движение осуществляется непроизвольно и обычно локтевой сустав согнут сильнее при согнутом плечевом суставе, чем при разогнутом. При некоторых неврологических заболеваниях, как, например, болезнь Паркинсона, автоматическое колебание конечностей исчезает. Во время военных маршей это движение карикатурно преувеличено вследствие тренировок.

При **виде спереди** становится хорошо заметен **диагональный характер колебания**:

- продвижение вперед правой стопы и левой кисти (рис. 34);
- верхние конечности практически вертикальны, когда нижние сближены друг с другом (рис. 35);
- максимальное колебание, естественно, диагонально направленное при опоре на две ноги (рис. 36);
- голова обычно не участвует...

Можно задаться вопросом о необходимости подобного колебания... Продвижение вперед правой верхней конечности (рис. 36) может задействовать все туловище, *отражая расположение центров тяжести каждого сегмента*... Но тогда является ли оно обратнo-направленным колебанием расположенной сзади левой верхней конечности?

Может быть, это обратнo-направленное продвижение верхних конечностей (кпереди и кзади) поддерживает равновесие верхней части туловища?

**И** тут стоит учесть тот факт, что **ходьба становится менее удобной при фиксированных верхних конечностях**, когда они не могут качаться в такт походке. Примером может послужить случай, когда мы несем в руках ребенка, что объясняет, почему у некоторых народов принято носить ребенка за спиной.

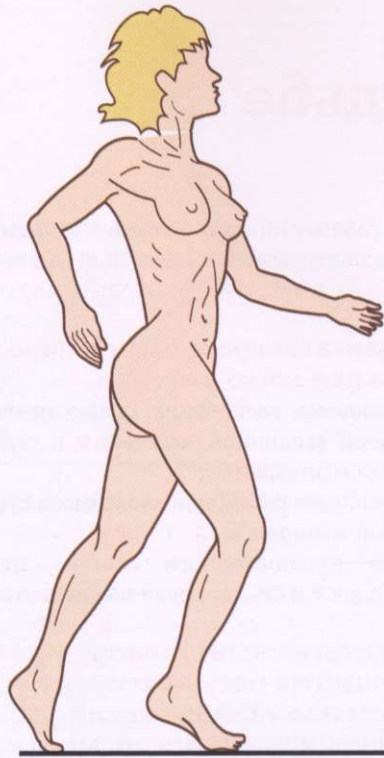


Рис. 32

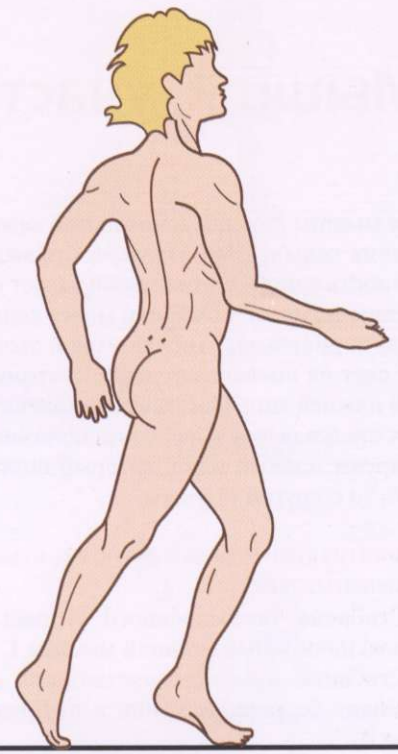


Рис. 33

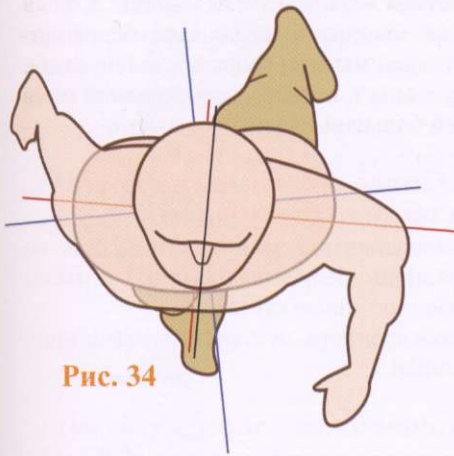


Рис. 34

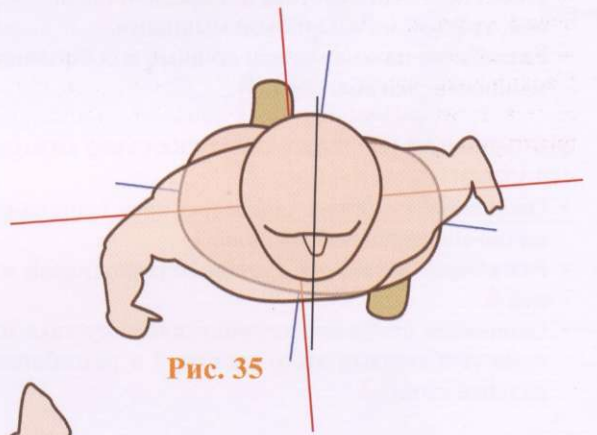


Рис. 35

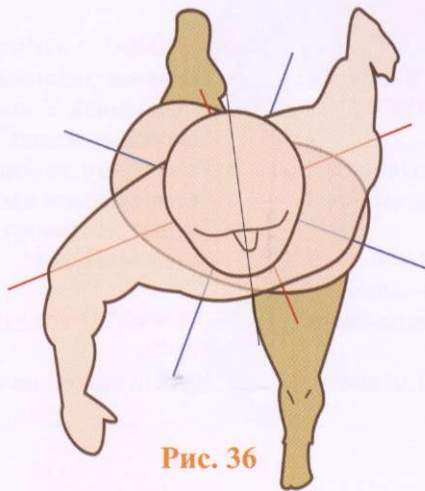


Рис. 36

# Мышцы, участвующие в ходьбе

Все мышцы нижних конечностей важны для осуществления ходьбы. Это означает, что малейшая недостаточность одной из этих мышц может привести к нарушению походки, более или менее серьезному.

Девять рисунков, относящихся к этой теме, проливают свет на последовательное сокращение мышц правой нижней конечности, левая конечность на всех схемах представлена в исходном положении. Они иллюстрируют полный цикл, который повторяется то с одной, то с другой стороны.

## Начало движения вперед колеблющейся конечности (рис. 37)

- Сгибание тазобедренного сустава под действием пояснично-подвздошной мышцы 1.
- Сгибание коленного сустава под действием седалищно-бедренных мышц и двуглавой мышцы бедра 2.
- Сгибание голеностопного сустава группой мышц-сгибателей этого сустава 3: передней большеберцовой, третьей малоберцовой мышцами.
- Разгибание пальцев стопы общими и собственными мышцами-разгибателями 4.

## Начальный контакт с плоскостью опоры на уровне пятки (рис. 38)

- Окончание сгибания тазобедренного сустава пояснично-подвздошной мышцей 1.
- Разгибание коленного сустава четырехглавой мышцей 5.
- Окончание сгибания голеностопного сустава мышцами сгибателями этого сустава 3 и разгибателями пальцев стопы 4.

## Вертикальная опора на одну ногу (рис. 39), подошва стопы полностью контактирует с полом

- Настойчивое действие четырехглавой мышцы 5.
- Начало сокращения большой ягодичной мышцы 6.

## Нарушение равновесия впереди (рис. 40)

- Разгибание тазобедренного сустава большой ягодичной мышцей 6 с участием седалищно-бедренных мышц.
- Антагонизм-синергизм с четырехглавой мышцей 5.

- Сгибание голеностопного сустава мышцами-сгибателями 3 в синергизме с большой ягодичной мышцей 6.

## Первый двигательный толчок перед опорой на две ноги (рис. 41)

- Продолжающееся разгибание тазобедренного сустава большой ягодичной мышцей 6 и седалищно-бедренными мышцами 7.
- Продолжающееся разгибание коленного сустава четырехглавой мышцей 5.
- Разгибание голеностопного сустава трехглавой мышцей бедра 8 и сгибателями пальцев стопы 9.

## Второй двигательный толчок (рис. 42), действующий на несущую ногу при полном разгибании, тогда как колеблющаяся конечность собирается наступить на пол

- Усиление действия четырехглавой мышцы 5, большой ягодичной мышцы 6, седалищно-бедренных мышц 7, трехглавой мышцы бедра 8 и мышщ-сгибателей пальцев стопы 9, особенно собственной мышцы, сгибающей большой палец.

## Начало колебания (рис. 43), когда другая конечность становится несущей

- Укорочение колеблющейся конечности за счет сокращения седалищно-бедренных мышц 7 и мышщ-сгибателей голеностопного сустава 3.
- Сгибание тазобедренного сустава пояснично-подвздошной мышцей 1.

## Колебание конечности кпереди (рис. 44)

- Усиление действия пояснично-подвздошной 1 и четырехглавой 5 мышц с расслаблением седалищно-бедренных мышц 7.
- Разгибание коленного сустава путем сокращения четырехглавой мышцы 5.
- Поднятие пальцев стопы действием мышщ-разгибателей пальцев 10.

## Приземление колеблющейся мышцы (рис. 45)

- Начало нового цикла.

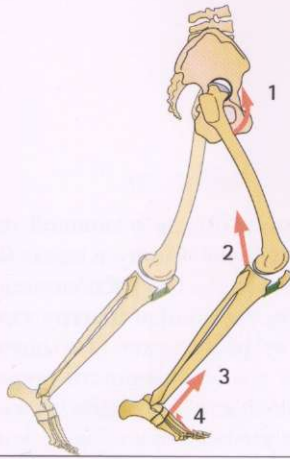


Рис. 37

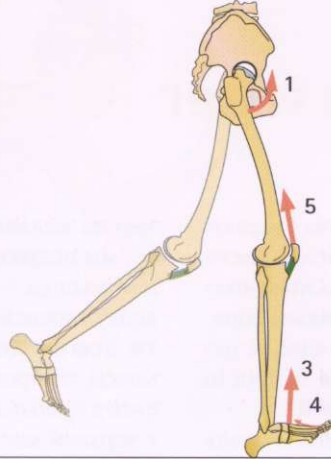


Рис. 38

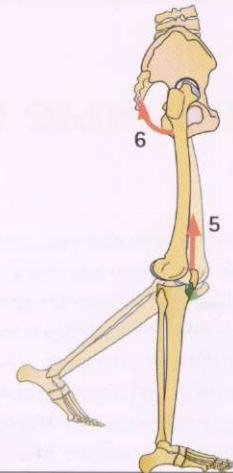


Рис. 39

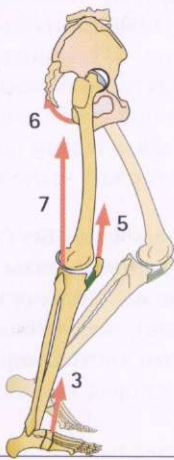


Рис. 40

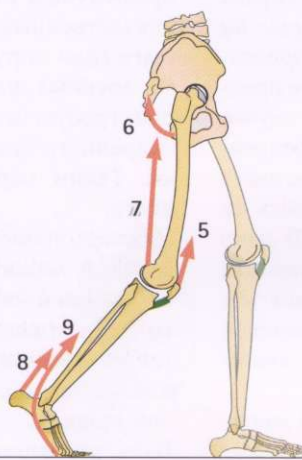


Рис. 41

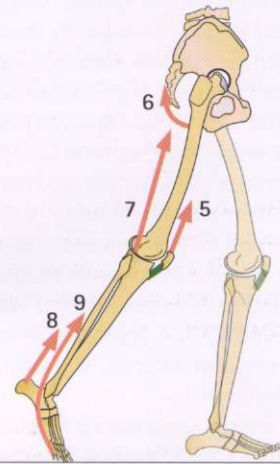


Рис. 42

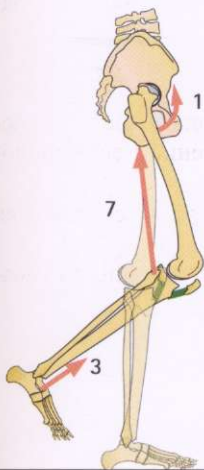


Рис. 43

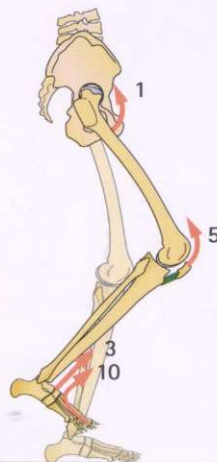


Рис. 44

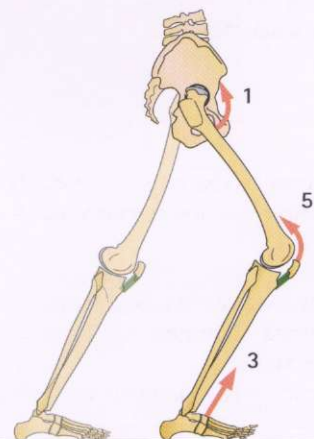


Рис. 45

# Мышечные цепи и бег

Не стоит думать, что все упомянутые мышцы бессвязно работают «каждая для себя». В действительности они подчиняются очень четким **двигательным схемам**, зависящим от головного мозга, но главным образом - от мозжечка, которые объединяют в единое целое **отношения антагонизма-синергизма** и просто **синергизма**, для создания **мышечных цепей**.

В функциональном плане эти мышечные цепи очень важны. Например, цепь, отвечающая за **разгибание нижней конечности** (р и с . 4 6 , начало бега) под влиянием двигательного толчка. Эта цепь показывает важность двусуставных мышц: бедренной мышцы справа D и трехглавой мышцы T, *воздействие которых на дистальный сустав зависит от положения проксимального сустава*, определяющего их состояние преднатяжения. В проиллюстрированном здесь случае большая ягодичная мышца G, приводящая тазобедренный сустав в разогнутое состояние, будет натягивать правую бедренную мышцу и благоприятствовать ее разгибательному эффекту на коленный сустав. В свою очередь, правая бедренная мышца, разгибая коленный сустав, натянет икроножную мышцу, увеличивая тем самым мощность трехглавой мышцы, разгибающей голеностопный сустав, и даст максимальный двигательный толчок.

В итоге **часть мощности большой ягодичной мышцы сначала передается правой бедренной мышце, а затем, через посредников - трехглавой мышце**. Такая система имеет большие преимущества с точки

зрения механики, поскольку, говоря о мощной мышце, мы подразумеваем большую мышцу, а самая мощная мышца - большая ягодичная - расположена на верху нижней конечности, т.е. **вблизи центра тяжести всего тела**. Выгода от расположения мышечной массы на проксимальном конце конечности заключается в *приближении сегментарного центра тяжести к верхней части ноги и в уменьшении общего момента действия нижней конечности*. Это приводит к улучшению мышечной производительности.

Ходьба не всегда происходит по схеме, описанной на предыдущей странице. Существуют специальные и искусственные походки, как, например, «гусиный шаг» (или «пруссский шаг») (р и с . 4 7 ) , используемый на военных парадах некоторых армий мира. Этот шаг требует очень сильных мышц-сгибателей тазобедренного сустава и хорошей физической подготовки. Таким образом, его невозможно использовать долго.

Наконец, кроме ходьбы, существует еще и бег (р и с . 4 8 ) , который характеризуется отсутствием **фазы опоры на две ноги** (обратите внимание на тень опорной части ноги, отделенную от человека), замененной фазой так называемого **«подвешенного состояния»**, более или менее продолжительную, которая является началом прыжка.

Итак, подведем итог. В этой главе рассказаны далеко не все характеристики ходьбы и всех других вытекающих действий...

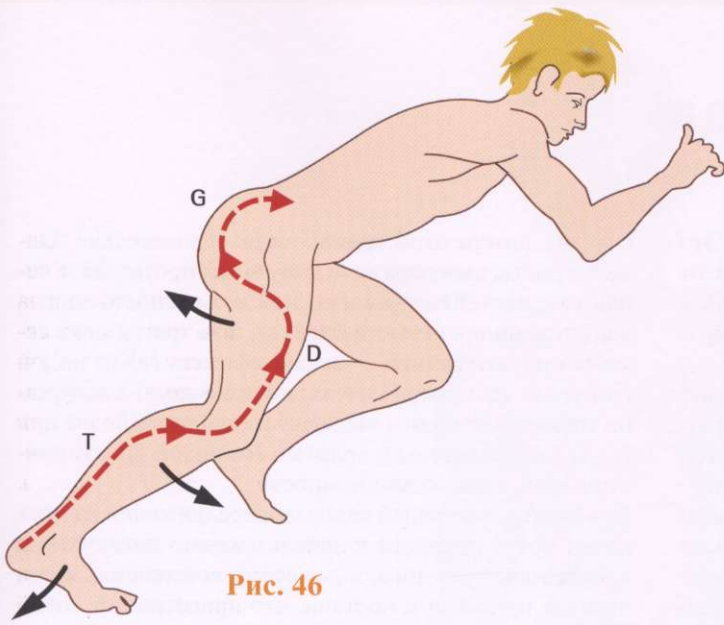


Рис. 46

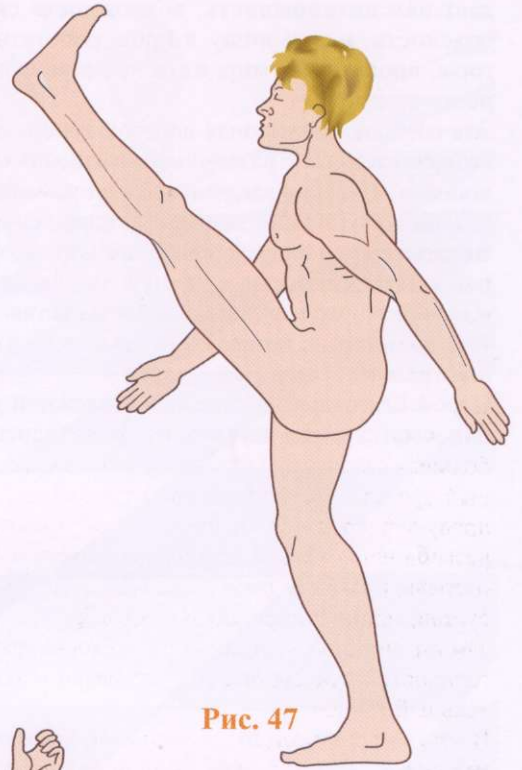


Рис. 47

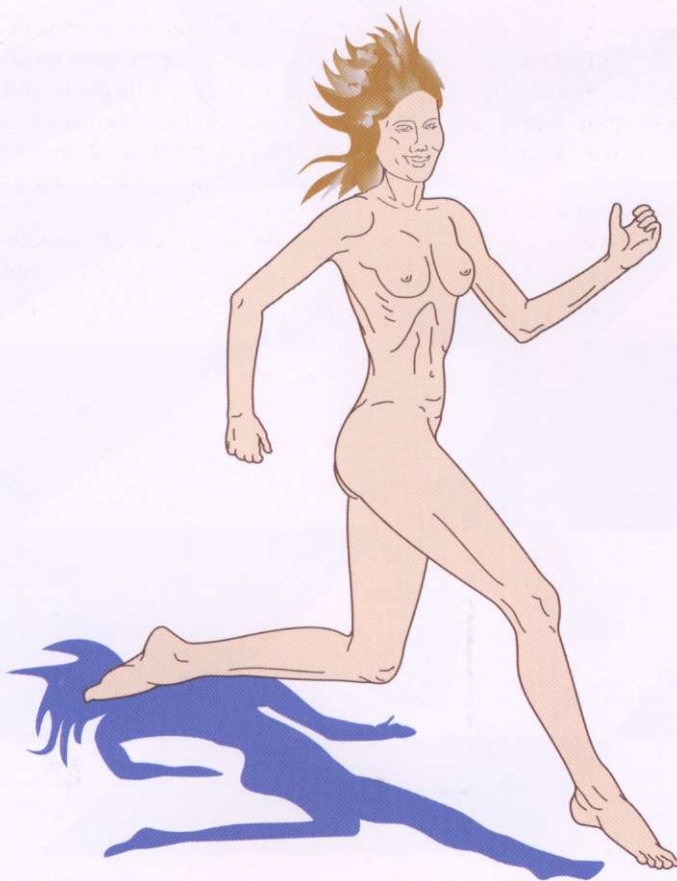


Рис. 48

# Ходьба... Это свобода!

Ходить - значит обладать первой из свобод! Это дает нам **автономность**, возможность скрыться от опасности, найти пищу и кров, работать, ходить в горы, пройти весь мир, идти на встречу с неизвестным...

Эта свобода, полученная дорогой ценой, может быть потеряна в связи с различными жизненными превращениями: из-за повреждений головного мозга, простой потери координации движений, нарушения нервного сообщения или повреждений спинного мозга, мышечной недостаточности в связи с миопатией, полного или частичного нарушения работы суставов в результате артропатии, артроза или же просто из-за серьезной травмы...

Порой благодаря длительной и сложной реабилитации удается снова научить человека ходить. В других

случаях потеря этой способности окончательна. Однако трость, своеобразный наружный протез, дает человеку с нестойким равновесием возможность ходить в состоянии временного баланса. Эта третья нога является иллюстрацией к загадке сфинкса («Кто по утрам ходит на четырех ногах, днем на двух, а вечером на трех») и позволяет человеку продолжать более или менее самостоятельно ходить... Но порой она означает полную потерю автономности.

Все нарушения нашей свободы передвижения на двух ногах могут привести к использованию инвалидного кресла или, хуже того, к лежачему положению, когда человек прикован к постели, что представляет собой начало конца!

Рисунок, представленный на противоположной странице, вдохновлен рисунком Микеланджело.





Рис. 49