

**Х.З. ГАФАРОВ**

Казанская государственная медицинская академия

УДК 617.586/.584-07-053.2

О торсионной трансформации бедренной кости человека

Гафаров Хайдар Зайнулловичдоктор медицинских наук, член-корреспондент АНТ, профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии
420141, г. Казань, ул. Милосердия, д.1, тел: (843) 263-65-62, e-mail: travmac@mail.ru.

Под влиянием работы тазобедренных мышц у человека происходит возрастная торсионная трансформация бедренной кости вокруг продольной оси особенно интенсивно в первые четыре года жизни после рождения. Торсионное развитие заканчивается к возрасту 18-22 лет. Значение его заключается в обеспечении оптимальной кинематики в возникновении упругой деформации костей. Последняя улучшает кровообращение в её порах, повышает её прочность, и создаются амортизационные свойства в нижней конечности при ходьбе. Механизм амортизации возникает и за счет анатомической кривизны диафиза бедренной кости, т.к. происходит сложение упругой деформации вокруг продольной оси и гибательно-разгибательных циклов бедренной кости при различных фазах шага.

Ключевые слова: торсия, момент силы, направление силы, рычаг.

H.Z. GAFAROV

Kazan State Medical Academy

About torsional transformation of a human femur

Under the influence of the hip muscles in humans is age transformation femoral torsion around the longitudinal axis of the particularly intense during the first four years of life after birth. Torsion development ends at age 18-22 years. Its value is to ensure optimal kinematics in causing the elastic deformation of the bones. Last improves circulation in its pores, increases its durability and dampening properties are in the lower extremities during walking. Depreciation mechanism arises due to the anatomical curvature of the femoral shaft, as is the addition of elastic deformation around the longitudinal axis of the extensor and flexor-cycles of the femur at different phases of the step.

Keywords: torsion, moment of force, direction of force, lever.

Одной из актуальнейших проблем детской и подростковой ортопедии является фундаментальная теория торсионного развития конечностей в возрастном аспекте в норме и патологии опорно-двигательного аппарата. Особенно важными являются законы формообразования сегментов бедра, голени, стопы в зависимости от функции в норме и при развитии заболеваний или деформаций. Однако остается не до конца ясной значимость нарушений механизма торсионного развития при врожденных и приобретенных деформациях сегментов нижней конечности, а также их роль в процессе лечения этой патологии. В то же время не раскрыт механизм торсионного развития сегментов нижней конечности и в норме, поэтому судить о его нарушениях при ортопедических заболеваниях весьма сложно. В этой связи мы взяли на себя труд по изучению биомеханики торсионного развития в норме у детей различного возраста.

Материалы и методы

Для раскрытия механизмов торсии бедренной кости были изучены с точки зрения механики направления всех сил тазобедренных мышц на влажных препаратах и на сухих человеческих

скелетах всех возрастов (78 скелетов: от 7 месячных плодов до 82 лет). Проанализированы свыше 1500 рентгенограмм костей таза с бедренными сегментами и сегментами голени и стопы на здоровой стороне и с патологией в области тазобедренных суставов у детей и у взрослых. Использованы методы матанализа, моделирования, биомеханики, антропометрии.

Результаты исследования

На рисунке 1 приведены препараты левой бедренной кости новорожденного ребенка и правая бедренная кость взрослого человека, вид сверху. Для демонстрации величины углов анторсии через поперечную ось мыщелков и шеек бедренных костей проведены металлические стержни. На влажном препарате бедренной кости у данного новорожденного угол анторсии составляет 40°, а у взрослого человека — 10°. Следовательно, в процессе торсионного развития скрученность бедренной кости уменьшилась на 30° по сравнению с периодом новорожденности.

В биомеханике изучаемого процесса существенная роль принадлежит той системе рычага, которая создается деятель-

ностью подвздошно-поясничной мышцы. У взрослых сокращение этой мышцы совместно с другими обеспечивает сгибание и наружную ротацию бедра [2, 3] через точку опоры его головки в области передне-верхнего края вертлужной впадины, образуя рычаг второго ряда [1].

У новорожденного ребенка, наоборот, сокращение подвздошно-поясничной (ПП) мышцы способствует внутреннему повороту бедра из-за большого угла антеторсии [3, 4]. Поэтому область большого вертела перемещается сзади наперед, приближаясь к фронтальной плоскости, а головка бедра, находясь на точке опоры, то есть в вертлужной впадине, постепенно отходит кзади относительно большого вертела по горизонтальной плоскости.

Весь комплекс приспособительных изменений, ведущих к нормальному развитию биомеханики вертикальной ходьбы человека, начинается с функции мышц таза [5]. Среди последних, как уже говорилось выше, важную роль выполняет подвздошно-поясничная мышца, которая является ключом для пуска и регуляции сложного процесса развития статики вообще и формирования нормальной биомеханики нижних конечностей в частности. Несомненно, на динамический процесс формирования проксимального отдела бедренной кости оказывают влияние и другие мышцы, но не столь существенное, как подвздошно-поясничная (ПП) мышца. Поэтому для лучшего понимания этого процесса целесообразно рассмотреть назначение отдельных мышц, прикрепляющихся в области проксимального конца бедренной кости и вызывающих ее торсионное изменение.

Углы антеторсии измерялись на цельных костных препаратах, а также на горизонтальных распилах шейки и головки бедренных костей, произведенных на двух уровнях с выделением трех отдельных фрагментов. На опиленные поверхности наносили линии по центру головки и шейки, с одной стороны, и вертельной части – с другой. Они пересекаются и образуют между собой угол, открытый кзади (рис. 2 а). Вершина угла, как правило, располагается на уровне основания шейки бедренной кости. В литературе объяснения механизма формирования изгиба шейки бедренной кости у основания мы не обнаружили. Указанный выше угол нами назван как угол ретрофлексии шейки бедра. На костных препаратах он проявляется именно как изгиб (рис. 2 б).

Измерение величины данного угла на препаратах у людей различного возраста выявило ее колебания в пределах от 0° до 28°. У взрослых эта величина варьирует в среднем в пределах 16-18°. На препаратах бедренных костей у новорожденных рассматриваемый угол не обнаруживается, но у детей в возрасте 5-6 лет он уже определяется и равняется 4-8°. Постепенно развивающаяся ретрофлексия шейки бедренной кости в процессе роста организма можно рассматривать как следствие воздействия мышц.

Уменьшение угла антеторсии и образование угла ретрофлексии тесно взаимосвязано. Уменьшение угла антеторсии вызывает возникновение и увеличение угла ретрофлексии шейки бедра, и все это происходит в основном под влиянием мышечной деятельности. На рис. 3 а представлена схема расположения мышц тазобедренной области по горизонтальной плоскости. По ней можно проанализировать некоторые биомеханические закономерности, вызванные деятельностью отдельных групп мышц тазобедренной области.

Продольная ось бедренной кости у новорожденных на горизонтальном распиле прямолинейна. Она может быть воспринята как рычаг II рода, внутренний конец которого (головка бедра) имеет конструкцию шаровидного шарнира (2). При действии с одной стороны направленной кпереди силы сокращения подвздошно-поясничной мышцы на малый вертел и противо-

действие, с другой стороны, группы мышц наружных ротаторов (грушевидной, близничных, квадратной, внутренней и наружно запирательных, задних порций средней и малой ягодичных мышц) происходит сгибание шейки бедра кзади на месте ее перехода в диафиз. Эту конструкцию можно представить в виде балки переменного сечения. На рис. 3 б O_1 – внутренний конец ее имеет конструкцию шарового шарнира. Примерно на середину балки в точке А действует сила Р подвздошно-поясничной мышцы, а на ее наружную часть в противоположном направлении от силы Р противодействуют силы P_1, P_2, P_3, P_4 (наружные ротаторы бедра как сумма разных моментов сил). Под действием этих сил в наружной части возникает момент с напряжением, определяемым формулой $G = M_{сгиб} / Wc$ (1), где G — напряжение, растягивающее передние части и сжимающее задние части шейки бедра; $M_{сгиб}$ — величина сгибающего момента; Wc — момент сопротивления сечения.

Как видно из изложенного, наименьшее значение Wc имеет основание шейки, следовательно, здесь и возникает максимальное напряжение. Согласно формуле, для приблизительного круглого сечения Wc имеет значение $\rho R^3/4$, где R- радиус сечения. В этой области и должен находиться наибольший угол изгиба. Такой областью является место перехода шейки в вертельную часть бедра. В процессе развития нижней конечности благодаря деятельности указанных мышц угол изгиба постепенно увеличивается в среднем до 18°. Как видно на схеме, силы P_1, P_2, P_3, P_4 находятся латеральнее силы Р. Такое соотношение сил вызывает изгиб оси балки. Линия изгиба показана пунктиром (рис. 3 б).

Обсуждение результатов исследования

У обследованных нами новорожденных продольные оси бедренной и большеберцовой костей во фронтальной плоскости образуют угол, открытый кнутри, в пределах 166-168°, то есть кости голени по отношению к бедренной кости находятся в положении варусной установки под углом 172-178° (рис. 4). Голенистоопный сустав смещается кнутри от биомеханической оси нижней конечности, проходящей через середины тазобедренного и коленного суставов. У взрослых, наоборот, угол между продольными осями бедренной и большеберцовой костей открыт кнаружи и составляет 170-174°.

Изменениям, происходящим в области коленного сустава, способствуют в первую очередь мышечная работа, а затем статическая нагрузка, возникающая при ходьбе. Отклонение проксимального конца голени кнутри, а дистального кнаружи, происходит при внутренней торсии коленного сустава не только по фронтальной плоскости, но и по спирали снаружи внутрь, причем проксимальный конец костей голени отклоняется снаружи внутрь и спереди назад. По этой причине коленный сустав

Рисунок 1.

Левая бедренная кость новорожденного и правая бедренная кость взрослого человека, вид сверху. Спицы проведены через оси шеек бедренных костей и мыщелков. Углы между спицами показывают величину антеторсии

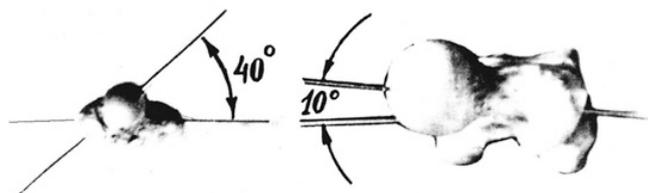


Рисунок 2.

Распилы препарата шейки бедренной кости взрослого человека:

а - вид спереди; б - величины углов ретрофлексии на распилах в зависимости от уровня, вид по горизонтальной плоскости

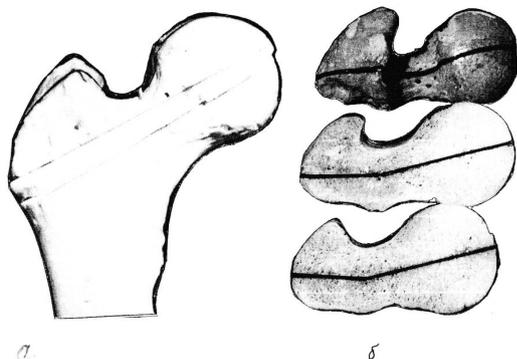


Рисунок 3.

Схема расположения тазобедренных мышц, горизонтальная плоскость:

а - направления сил мышц, участвующих в образовании угла ретрофлексии; б - возникновение изгиба под действием тазобедренных мышц у основания шейки бедра

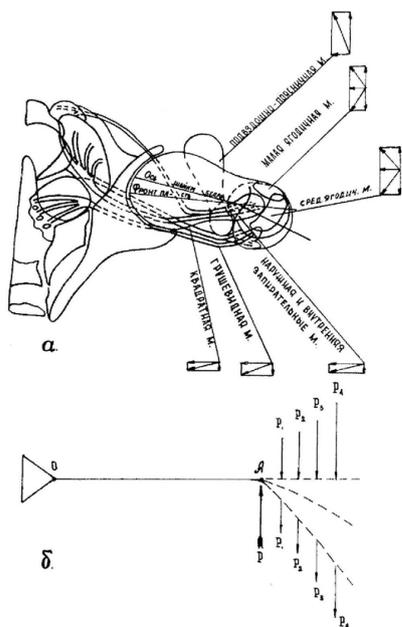


Рисунок 4.

Влажные препараты нижних конечностей новорожденного ребенка (а) и двухлетнего ребенка (б)

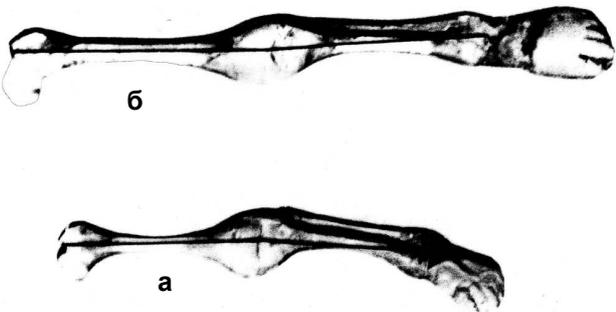


Рисунок 5.

Схема расположения осей шейки бедра, мыщелков и лодыжек новорожденного, взрослого человека в изометрии

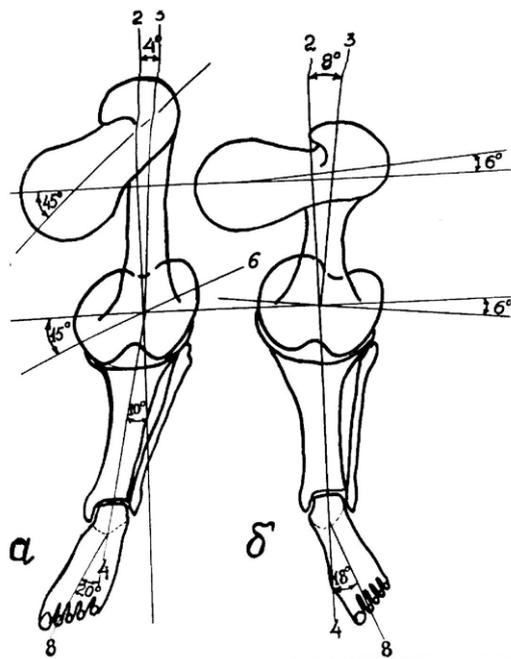


Рисунок 6.

Схема направления сил двух основных мышц, на концах бедренной кости способствующих скручиванию ее по продольной оси на протяжении

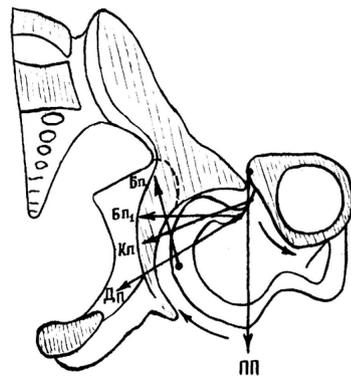


Рисунок 7.

Сухой препарат левых бедренных костей взрослого человека и новорожденного (объяснения в тексте)



Рисунок 8.

Схема передачи скручивающих сил от бедренного сегмента к проксимальному отделу большеберцовой кости сухожилиями двухсуставных мышц, вид изнутри

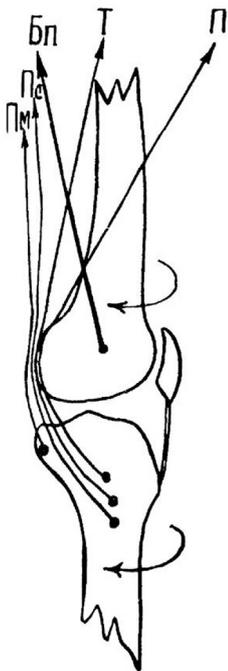
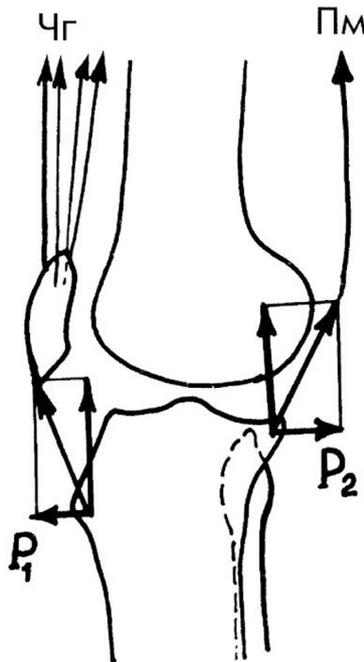


Рисунок 9.

Схема возникновения метадиафизарного угла под действием сил мышц (слева), вид изнутри



из варусного положения у новорожденного переходит к физиологическому вальгусному положению уже к 3-4 годам.

Дистальный отдел костей голени, скручиваясь кнаружи, отклоняется латерально (кнаружи), обеспечивая физиологический вальгус в области коленного сустава. В результате этого биомеханическая ось нижней конечности проходит почти у наружного края блока таранной кости, что обеспечивает равномерную нагрузку над- и подтаранных суставов и способствует правильному развитию продольного свода стопы и ее рессорной функции. Трансформация продольных осей бедра и голени, поперечных осей мыщелков, а также лодыжек происходит как единое взаимосвязанное и неразрывное торсионное развитие нижней конечности, которая в области коленного сустава напоминает поворот плеч коловороты или изогнутого стержня под углом 168° . Если сравнить бедро и голень новорожденного с изогнутым стержнем, с углом, открытым кнутри и кзади в области коленного сустава, то к четырем годам, к завершению процесса внутреннего скручивания, вершина угла стержня (область коленного сустава) опишет дугу в пределах $18-24^\circ$, в радиусе 30 мм, при длине нижней конечности ребенка, равной 35-40 см.

На рисунке 5 (а, б) приведена схема торсионного развития с момента рождения до окончания периода роста.

Рассмотрим механизм внутреннего скручивания коленного сустава под влиянием сокращения мышц в норме. На рисунке 6 представлен распил костей таза по горизонтальной плоскости на уровне вертлужной впадины, а бедренной кости – на уровне малого вертела. Направления векторов сил, создающих скручивающий момент бедренной кости в верхней и нижней трети,

указаны стрелками. Как видно из рисунка, к области малого вертела приложена сила (ПП) пояснично-подвздошной мышцы, которая направлена вперед. Силу в обратном направлении создают длинные мышечные пучки большой приводящей мышцы (Бп), которые, начинаясь от седалищного бугра, прикрепляются к медиальному надмыщелку бедренной кости, то есть совершают ход сверху вниз, сзади наперед. Короткие пучки (Бп₁) мышцы берут начало от нижней части седалищной кости, то есть спереди от длинных пучков, и прикрепляются к медиальной губе шероховатой линии бедренной кости до границы ее нижней трети. Сокращение коротких пучков (основная их функция – приведение бедра) большой приводящей мышцы (Бп₁) при фиксированной в вертлужной впадине головке бедра на вершине 2/3 длины кости оказывает слегка ротирующее кнаружи действие, которым бедро как бы удерживается, то есть стабилизируется в определенном положении. Длинные пучки (Бп) этой же мышцы создают выраженное скручивающее действие кнутри на дистальный отдел кости. Поэтому нижняя половина бедренной кости заметно скручивается кнутри, что отчетливо видно на препарате (рис. 7). Грань, обозначенная цифрой 2 в области мыщелков бедра, полностью отклоняется внутрь. У новорожденного ребенка грани бедренной кости не скручены, препарат слева - рисунок 7 б. Следовательно, одна и та же мышца оказывает скручивающее действие на бедренную кость вследствие анатомических особенностей ее строения и прикрепления к различным участкам кости. Последняя дополнительно стабилизирована короткой приводящей (Кп) и длинной приводящей (Дп) мышцами (рис. 6), которые оказывают на нее такое же действие, как и короткие пучки большой приводящей мышцы (Бп₁). При фиксированной головке бедренной кости в вертлужной впадине на ее малый вертел приложена сила пояснично-подвздошной мышцы (ПП), которая способствует уменьшению выраженного угла антеторсии у новорожденного ребенка. Противоположная ей сила (Бп) обеспечивает внутреннее скручивание дистального конца бедренной кости в пределах $18-22^\circ$. Скручивание поперечной оси мыщелков бедра на $18-22^\circ$ кнутри не может произойти без внутреннего скручивания проксимального отдела большеберцовой кости, которое происходит синхронно со скручиванием бедренной кости. Скручивающая сила от бедренной кости к большеберцовой передается не через пассивные элементы – связочно-капсулярный аппарат коленного сустава (такая передача в норме невозможна ввиду вероятности перекрута и растяжения связок, и нарушения конгруэнтности суставных поверхностей, и др.), а через сухожилия двухсуставных мышц, огибающих внутренний мыщелок бедренной кости сзади, как тросы через блок (рис. 8). На рисунке приведена схема расположения сухожилий портняжной (П), тонкой (Т), полусухожильной (Пс) и полумембранозной (Пм) мышц, огибающих внутренний мыщелок внутренней кости. Сухожилия первых трех мышц прикрепляются к области бугристости большеберцовой кости. Таким образом, скручивание поперечной оси мыщелков бедренной кости кнутри под действием длинных мышечных пучков большой приводящей мышцы (Бп) передается к большеберцовой кости через сухожилия двухсуставных мышц, огибающих внутренний мыщелок бедра. В процессе торсии кнутри и кзади внутренний мыщелок бедренной кости увлекает за собой сухожилия портняжной, тонкой, полусухожильной и полумембранозной мышц, прикрепленных к проксимальному отделу большеберцовой кости, и вызывает синхронное ее скручивание внутрь на $18-22^\circ$.

При внутреннем скручивании мыщелков бедренной кости под влиянием двухсуставных мышц происходит синхронное внутреннее скручивание поперечной оси мыщелков большеберцовой кости в области ее бугристости, так как данная область прочно фиксирована собственной связкой надколенника



и сухожилиями двухсуставных мышц. За счет силы тяги четырехглавой мышцы (Чг) бедра область бугристости большеберцовой кости как бы изгибается кпереди. Этому способствует направление силы полуперепончатой мышцы (Пм) кзади, так как точка прикрепления ее сухожилия расположена сзади на внутреннем мыщелке большеберцовой кости значительно выше, чем точка прикрепления собственной связки надколенника. Поэтому на проксимальный отдел большеберцовой кости действуют силы, идущие в противоположные стороны и приложенные на различных уровнях продольной оси кости (рис. 9). Внутренний мыщелок большеберцовой кости, фиксированный сзади сухожилием такой мощной мышцы, как полуперепончатая, постепенно смещается назад значительно больше, чем наружный, в результате чего метадиафизарный угол образуется именно в области бугристости большеберцовой кости.

Таким образом, вся бедренная кость подвергается торсионной трансформации в пределах 18-22° вокруг своей продольной оси, что обеспечивает оптимальную форму и положение нижней конечности для функций опоры и движения в процессе дальнейшей активности взрослой жизни, кроме глубокой старо-

сти, т.к. биомеханика нижней конечности в этом возрасте также претерпевает определенные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гафаров Х.З., Ахтямов И.Ф., Скворцов А.П. и др. Современные аспекты лечения заболеваний тазобедренного сустава у подростков с применением аппарата Илизарова. V Всероссийский съезд травматологов-ортопедов. Тез. докладов. - Ярославль, 1990. - С. 56-58.
2. Гафаров Х.З. Лечение деформаций стоп у детей. - Казань: Татарское книжное издательство, 1990. - 175 с.
3. Гафаров Х.З. Лечение детей и подростков с ортопедическими заболеваниями нижних конечностей. - Казань: Татарское книжное издательство, 1995. - 384 с.
4. Dupuis P. La Porsion fibiale. - Paris, 1951. - 115 с.
5. Le Damany P. Les torsions osseous levr role dans la transformation des menrbres. - Paris, 1909. - 390 с.
6. Lanz T., Wachsmuth W. Praktische Anatomic. - Berlin, 1938. - P. 74-85.