

## **Биомеханическая оценка тазобедренного сустава после выполнения поперечной остеотомии таза типа Salter, показания и проектирование остеотомии таза по Salter**

**В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, М.П. Тепленький, И.А. Атманский**

### ***The hip biomechanical evaluation after making the transverse pelvic osteotomy of Salter type, indications and designing pelvic osteotomy according to Salter***

**V.I. Shevtsov, V.D. Makushin, M.P. Tioplenky, I.A. Atmansky**

Федеральное государственное учреждение «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росмедтехнологий», г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Выполнен биомеханический анализ функционирования тазобедренного сустава после разворота остеотомированного фрагмента при выполнении операции Salter. На основе этого анализа предложен алгоритм математических расчётов и геометрических измерений по скиаграммам, с помощью которых можно с большой точностью позиционировать кинематический центр вращения тазобедренного сустава после коррекции, предусмотренной операцией Salter, избежать негативных последствий вентриализации и латеропозиции тазобедренного сустава при классическом исполнении этой операции.

Ключевые слова: остеотомия таза по Salter, дисплазия тазобедренного сустава

The work deals with the biomechanical analysis of the hip functioning after turning the fragment osteotomized while performing Salter surgery. In terms of this analysis the algorithm of mathematical calculations and geometrical measurements by skiagrams is proposed, with the help of which the kinematic center of the hip rotation can be positioned very accurately after correction provided by Salter surgery, and the negative consequences of the hip ventralization and lateropositioning can be prevented in case of making this surgery classically.

Keywords: pelvic osteotomy according to Salter, dysplasia of the hip.

В лечении дисплазии тазобедренного сустава у детей «osteotomy по Salter остается основополагающей. Именно с ней сравнивают другие остеотомии и почти все происходят от нее» [1]. Основная задача операции Salter заключается в реориентации вертлужной впадины вперед и наружу [2, 3].

В настоящее время разработано большое количество вариантов этой операции. Основные различия относятся к направлению выполняемой остеотомии и особенностям реориентации остеотомированного фрагмента таза.

По особенностям реориентации остеотомированного фрагмента таза можно выделить три основных варианта: 1) ротация фрагмента таза, содержащего впадину, происходит в лонном сочленении [8] (рис. 1, а); 2) ротация выполняется в лонном сочленении с сохранением контакта в задней части остеотомии [4] (рис. 1, б) и 3) используемая в нашем Центре, когда дистальный фрагмент ротируется в лонном сочленении (как в первом варианте) с дополнительной медиализацией и смещением назад (рис. 1, в).

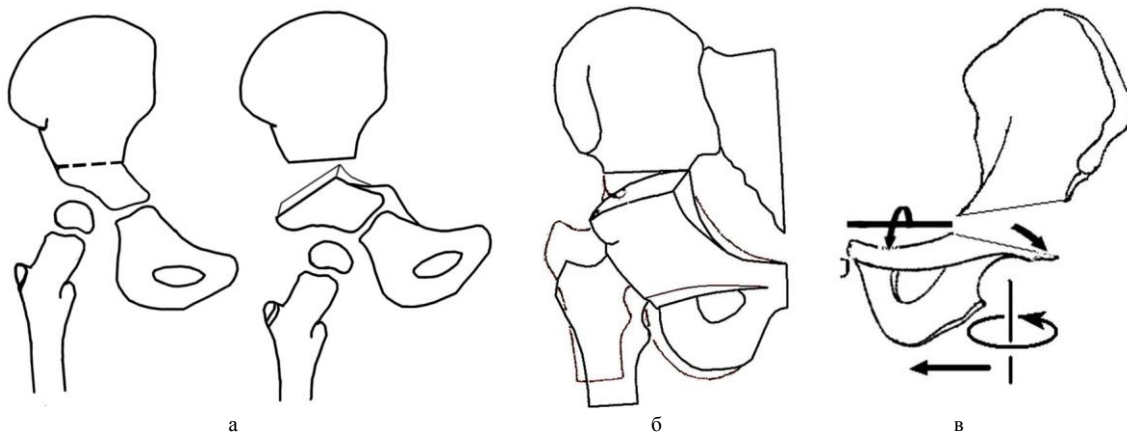


Рис. 1. Схемы выполнения остеотомии таза по Salter

Для анализа изменений, происходящих после разворота остеотомированного фрагмента, мы использовали математическую модель, путём геометрической интерполяции различных режимов разворотов одноплоскостных сканов.

**1. Биомеханическая оценка функционирования тазобедренного сустава после выполнения операции Salter с ротацией фрагмента в лонном сочленении**

Если ротация фрагмента таза, содержащего впадину, происходит в лонном сочленении (I вариант), то это приводит к вентрализации и латерализации тазобедренного сустава (рис. 1, а). Теоретический расчёт на основе антропометрических измерений таза, проведённый нами, показывает, что при наклоне дистального фрагмента на 15° вперед, центр тазобедренного сустава смещается на 0,5-1,0 см вентрально относительно своего нормального положения, а при максимальном наклоне (до 30°) такое смещение увеличивается до 1,5 см. Как видно из рисунка 2, смещение центра вращения тазобедренного сустава вперед увели-

чивает плечо веса тела ( $r$ ) и уменьшает плечо силы передней группы мышц бедра ( $r_1$ ).

На экспериментальной модели Б.Е. Беленький [5] провёл исследования, доказывающие, что восстановление равновесия в системе при массе тела 50 кг (без учёта веса опорной конечности) при смещении ОЦМ назад на 0,5-1 см приводит к увеличению мышечной тяги прямой мышцы бедра на 20 кг и соответственно к этому увеличению нагрузки на головку бедренной кости до 25 %. При максимальном наклоне впадины нагрузка на сустав возрастает на 50 %.

Кроме этого, как видно из рисунка 3, смещение всего сустава вперед вызывает и вентрализацию большого вертела относительно места прикрепления средней и малой ягодичных мышц, что вызывает следующие изменения. Во-первых, результирующая сила абдукторов отклоняется назад, а значит и снижается эффективность их работы (до 10 % при отклонении вектора на 30°).

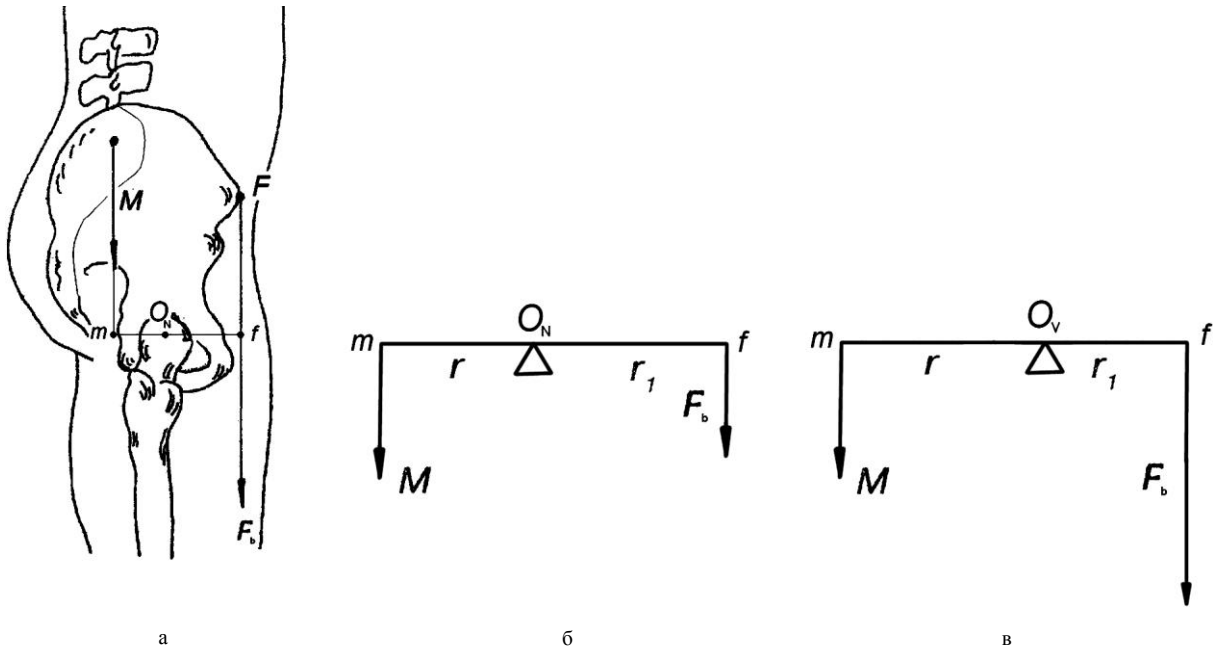


Рис. 2. Схема изменения плеча веса тела (вектор  $M$ ) и плеча 4-главой мышцы бедра (вектор  $F_b$ ) в норме (а, б) и при вентрализации сустава (в)

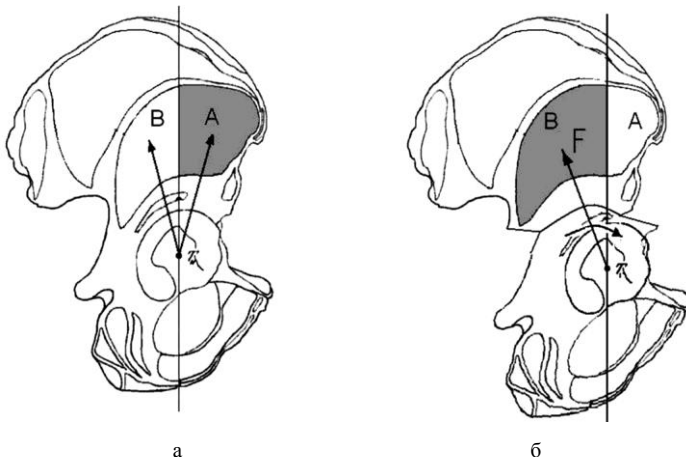


Рис. 3. Схема соотношения передних (А) и задних (В) пучков малой и средней ягодичных мышц в норме ( $T_N$ ) (а) и после вентрализации тазобедренного сустава (б)

Во-вторых, преобладание задних мышечных пучков над передними будет неизбежно вызывать ротацию бедренной кости наружу в опорный период (рис. 3, б). Индуцируемая этим фактором ротаторная дисфункция абдукторов в последующем будет вызывать ротационную нестабильность коленного сустава и компенсаторную genu valgа.

Таким образом, вентрализация тазобедренного сустава приводит к ротаторной дисфункции средней ягодичной мышцы, увеличению нагрузки на абдукторы и переднюю группу мышц, увеличению суммарной нагрузки на сустав до 60 %.

Рассматривая изменения во фронтальной плоскости, видно, что латерализация тазобедренного сустава приводит к увеличению угла фронтального отклонения *m. Psoas* (вектор силы  $F_i$ ), увеличению угла фронтального отклонения отводящей группы мышц (угол  $\beta$ ) и увеличению плеча действия силы веса тела  $A'O' \rightarrow A'O'_1$  (рис. 4).

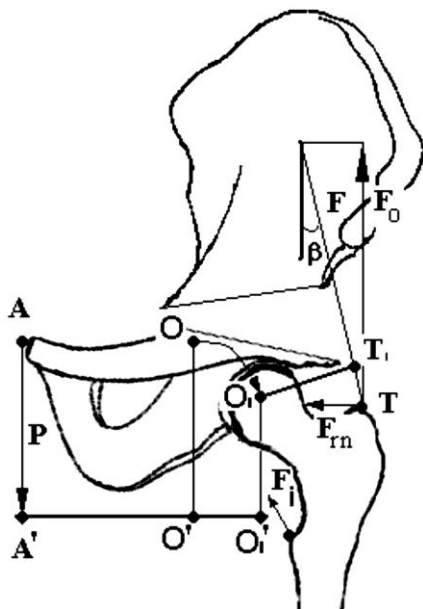


Рис. 4. Схема определения параметров биомеханических условий функционирования тазобедренного сустава после выполнения операции Salter (точки O и O<sub>1</sub> – центр тазобедренного сустава до операции и после смещения остеотомированного фрагмента, T и T<sub>1</sub> точки прикрепления абдукторов к большому вертелу до и после операции)

Из приведённой схемы видно, что  $F_0 = F \times \cos \beta$ ,  $F_m = F \times \sin \beta$ , где  $F$  – вектор равнодействующей сил абдукторов,  $F_0$  – вертикальная составляющая силы  $F$ , обеспечивающая собственно отведение бедра,  $F_m$  – горизонтальная составляющая силы  $F$ , обеспечивающая придавливание головки бедра во впадину. Из этого следует, что увеличение угла  $\beta$  приводит к уменьшению значения  $F_0$  и увеличению  $F_m$ , т.е. в опорный период увеличивается компрессия медиальных отделов сустава при одновременном снижении вертикальной силы давления в среднем на 8,7 %. Однако сниже-

ния вертикальной силы давления не наступает в силу увеличения плеча веса тела. Увеличение плеча веса тела на 3,8-1,2 см приводит к увеличению вертикальной нагрузки в среднем до 50 %, придавливающей силы до 70 %. Из этого следует, что увеличение плеча веса тела дополнительно усиливает компрессию медиальных отделов сустава при одновременном увеличении вертикальной силы давления.

Увеличение вертикального угла наклона *m. Psoas*, приводит к увеличению горизонтальной составляющей её силы. Она увеличивает прижатие головки бедренной кости к тазу. В силу того, что её действие приложено ниже центра вращения, дополнительно оказывается ещё и противодействие абдукторам при удержании таза в опорный период. Вызываемая дополнительная нагрузка на отводящую группу мышц приводит к увеличению абсолютных значений как вертикальной составляющей вектора ( $F_0$ ) отводящей группы мышц, так и горизонтальной ( $F_m$ ), и, как следствие, усиливается компрессия в суставе и ротаторная дисфункция абдукторов.

Следует также обратить внимание и на то, что при операции Salter сустав низводится на расстояние от 0,5 до 1,5 см [6]. При этом натягиваются как абдукторы, так и *m. Psoas*, что приводит к увеличению их функциональной активности, а значит, и реализации их силовых задач. Одновременно с этим низведение сустава приводит к перекосу таза и удлинению конечности. Наклон таза в неоперированную сторону приводит к частичной «функциональной потере» наклона вертлужной впадины. Однако такая ориентация сохраняется только в начале опорного периода, далее по мере выравнивания таза скачкообразно проявляются негативные последствия увеличения вертикального угла наклона *m. Psoas*. Последствиями такого изменения условий функционирования *m. Psoas* является ассиметричная походка.

Таким образом, латерализация и вентрализация тазобедренного сустава приводят к формированию биомеханических условий ротационной дисфункции абдукторов; увеличению нагрузки на абдукторы, а следовательно, к компрессии в суставе (в большей степени верхнемедиальных отделов головки); увеличению нагрузки на переднюю группу мышц, чем создаются условия для формирования ассиметричной походки.

## 2. Биомеханическая оценка функционирования тазобедренного сустава после выполнения операции Salter с ротацией дистального фрагмента с сохранением контакта в задней части остеотомии

Ротация фрагмента таза, содержащего впадину, с сохранением контакта в задней части остеотомии приводит к вентрализации, медиализации и дистальному смещению тазобедренного сустава (рис. 1, б).

Биомеханическая оценка медиализации сустава нами была дана в работе, посвящённой биомеханическому анализу остеотомии таза по Chiari [7]. Однако следует ещё раз отметить, что при смещении сустава внутрь до вертикализации действия пояснично-подвздошной мышцы, т.е. на расстояние до  $2 \pm 0,42$  см, на отводящую группу мышц будет приходиться 67 % от исходной нагрузки. Дальнейшая медиализация приводит к индуцированию силы, вывихивающей головку из тазобедренного сустава, и увеличению нагрузки на абдукторы.

Путём геометрической интерполяции различных режимов разворотов одноплоскостных сканов мы пришли к выводам, что при развороте фрагмента таза, содержащего впадину с сохранением контакта в задней части остеотомии, максимальная медиализация сустава наступает в пределах 1,5-2 см. Следовательно, это приводит к улучшению условий функционирования отводящей группы мышц и снижению на них нагрузки.

Однако поскольку разворот во фронтальной плоскости производится в точке задней части остеотомии, то перемещение фрагмента происходит за счёт смещения контралатеральных отделов таза. В силу анатомических особенностей крестцово-подвздошного сустава, движение в нём происходит одновременно в трех направлениях: вращение вверх, разворот по типу раскрытия книжки во фронтальной плоскости и вращение назад в сагиттальной плоскости. Схема перемещения фрагмента отделов таза представлена на рисунке 5.

При нормальных анатомо-функциональных взаимоотношениях в контралатеральном суставе эти изменения приводят к дисфункции крестцово-подвздошного сустава и развитию артроза. При явлениях дисплазии – к подвывиху головки бедренной кости, что обусловлено двумя факторами: вертикализацией впадины, в силу того что происходит вращение вверх всей половины таза (рис. 5, а), и изменением угла горизонтальной инклинации вертлужной впадины из-за вращения всей половины таза назад (рис. 5, б). Чем больше выполнен разворот остеотомированного фрагмента, тем сильнее выражена трансформация всего таза. Максимально эти изменения наступают при медиализации на половину поперечного сечения подвздошной кости и более.

Дистальное смещение сустава при данном варианте разворота, согласно нашим расчётам, не превышает 1 см и частично может нивелироваться за счёт смещения вверх в лонном сочленении.

Таким образом, при ротации фрагмента таза, содержащего впадину, с сохранением контакта в задней части остеотомии формируются биомеханические условия для ротационной дисфункции абдукторов; увеличения нагрузки на переднюю группу мышц бедра, обусловленные вентрализацией сустава; снижения нагрузки на аб-

дукторы при медиализации сустава, не превышающей 2 см; деформации контралатеральной половины таза.

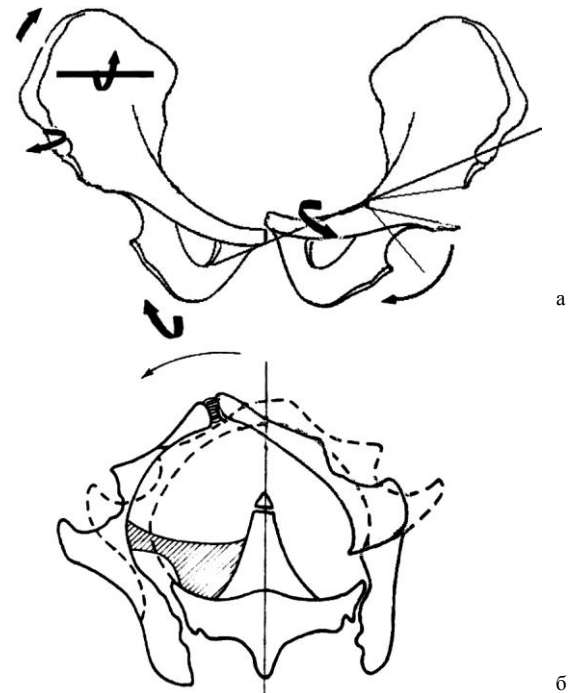


Рис. 5. Схема перемещения частей и фрагментов таза при выполнении остеотомии Salter с сохранением контакта в задней части остеотомии во фронтальной (а) и горизонтальной плоскостях (б)

### 3. Биомеханическая оценка функционирования тазобедренного сустава после выполнения операции по Salter с ротацией в лонном сочленении и дополнительным смещением остеотомированного фрагмента

Если ротация фрагмента таза, содержащего впадину, происходит в лонном сочленении (I вариант), то это приводит к вентрализации и латерализации тазобедренного сустава (рис. 1, а).

Дополнительная медиализация остеотомированного фрагмента позволяет нормализовать угол фронтального отклонения *m. Psoas*, абдукторов и плечо действия силы веса тела (рис. 6).

Как видно из рисунков, при этом также будет происходить деформация контралатеральной половины таза, хотя и в меньшей степени, чем во втором варианте. Однако восстановление углов фронтального отклонения *m. Psoas* и абдукторов позволяет нормализовать и величину силы, обеспечивающей придавливание головки ко впадине. Тем самым снижается вероятность латеропозиции головки бедренной кости и релюкации.

Избыточная вентрализация сустава устраняется путём дополнительного смещения остеотомированного фрагмента назад вокруг лонного сочленения (рис. 7).

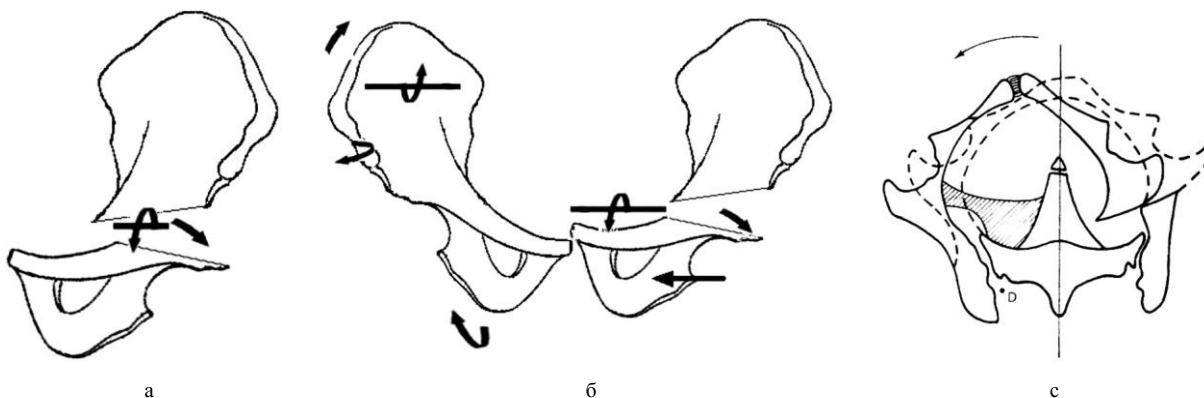


Рис. 6. Схема перемещения частей и фрагментов таза при выполнении остеотомии Salter во фронтальной плоскости с разворотом в лонном сочленении (а), после выполнения дополнительной медиализации дистального фрагмента во фронтальной (б) и в горизонтальной плоскостях (с)

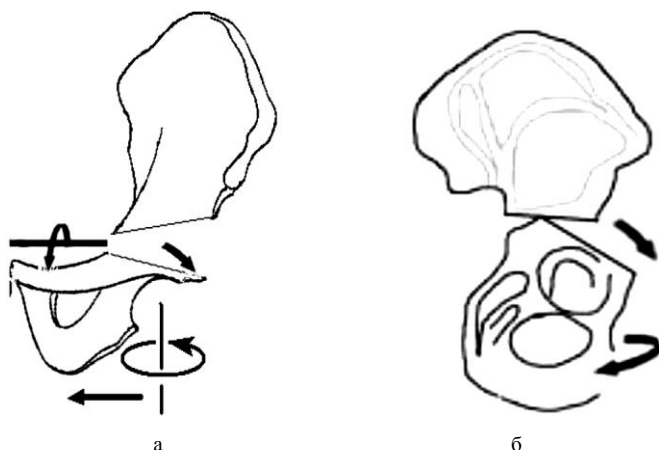


Рис. 7. Схема перемещения медиализации и дорсализации дистального фрагмента таза во фронтальной (а) и сагиттальной (б) плоскостях при выполнении при остеотомии по Salter

Смещение этого фрагмента позволяет нормализовать пространственное положение вертлужной впадины в сагиттальной плоскости относительно как ОЦМ, так и мест прикрепления абдукторов. Однако при этом будет наблюдаться увеличение её угла горизонтального соответствия и отклонения заднего края. При дисплазии тазобедренного сустава, обусловленной уплощением всей вертлужной впадины, это будет приводить к созданию условий для соскальзывания головки кзади. При этом избыточное отклонение впадины вперёд, чаще всего наблюдаемое при дисплазии, не компенсируется разворотом фрагмента назад, так как это отклонение обусловлено не столько её истинным разворотом, сколько уплощением переднего края.

#### 4. Проектирование остеотомии таза по Salter на основании проведённого биомеханического анализа

На основании изложенного выше мы считаем, что показаниями для выполнения остеотомии таза по Salter будет недостаточное развитие переднего и верхнего отделов вертлужной впадины, возраст пациентов до 4-5 лет, индекс глубины впадины не менее 0,4-0,3; толщина дна впадины от 2 до 0,5<sup>1</sup>, центрация тазобедренного сустава и хорошее покрытие головки при отведении бедра

не более 30±5°, конгруэнтность сочленяющихся поверхностей тазобедренного сустава, одностороннее поражение тазобедренного сустава.

#### Проектирование остеотомии таза по Salter с последующей медиализацией остеотомированного фрагмента

На основании изложенного выше следует, что проектирование остеотомии таза следует начинать с оценки степени и характера дефицита покрытия головки бедренной кости вертлужной впадиной по уже известным методикам.

Далее необходимо определить положение кинематического центра поражённого тазобедренного сустава относительно здорового. На скиаграмме таза с помощью ишиометра определяют центры вращения обоих тазобедренных суставов (точки О и О' на рис. 8) и оценивают их положение относительно срединной линии таза DD'. Определяют середину лонного сочленения (точка F) и измеряют величину отрезка OF.

Исходя из того, что наклон кнаружи производится путём вращения дистального фрагмента относительно лонного сочленения, то, зная величину этого наклона и радиус вращения фрагмента, можно рассчитать величину латерализации кинематического центра вращения тазобедренного сустава (H<sub>l</sub>) по формуле:

$$H_l = |OF| \times (\cos(i) - \cos(i-k)),$$

где |OF| – радиус вращения кинематического

<sup>1</sup> Отношение расстояния от линии Омбредана до наружного края «Y»-образного хряща к ширине «Y»-образного хряща.

центра тазобедренного сустава, измеряемого по скиаграмме,  $i$  – исходная величина ацетабулярного индекса,  $k$  – величина планируемого наклона.

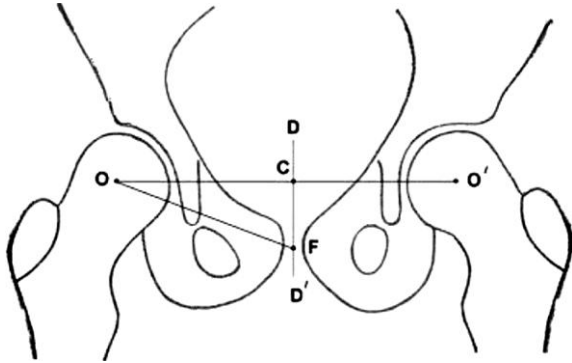


Рис. 8. Схема определения параметров локализации кинематического центра вращения тазобедренного сустава

При  $|OC| = |CO'|$ , величина необходимой медиализации ( $H_m$ ) будет равна:

$$H_m = |OF| \times (\cos(i) - \cos(i-k)).$$

При  $|OC| > |CO'|$ , величина необходимой медиализации будет равна:

$$H_m = (|OC| - |CO'|) + |OF| \times (\cos(i) - \cos(i-k)).$$

При  $|OC| < |CO'|$ , величина необходимой медиализации будет равна:

$$H_m = |OF| \times (\cos(i) - \cos(i-k)) - (|OC'| - |CO|).$$

*Проектирование остеотомии таза по Salter с последующей медиализацией дистального фрагмента и его разворотом дорсально*

Анализ рентгенограмм и расчёт необходимой медиализации выполняется аналогично предыдущему случаю.

Определение необходимой величины наклона кпереди, предложенное М.П. Тепленьким и Н.Г. Логиновой, выполняется по рентгенограмме с таким сгибанием, чтобы горизонтальная линия, проведенная через передний край впадины, не пересекала головку бедренной кости (рис. 9). При этом бедро должно находиться в положении внутренней ротации, соответствующей разнице между углом антеверсии пациента и нормальным показателем угла антеверсии<sup>2</sup>.

Далее по скиаграмме (рис. 10) определяется радиус вращения вертлужной впадины кпереди. Через кинематический центр оперируемого тазобедренного сустава проводится линия параллельно срединной линии таза OS; через середину лонного сочленения на линию OS опускается перпендикуляр FS. Отрезок и будет искомым радиусом вращения вертлужной впадины кпереди.

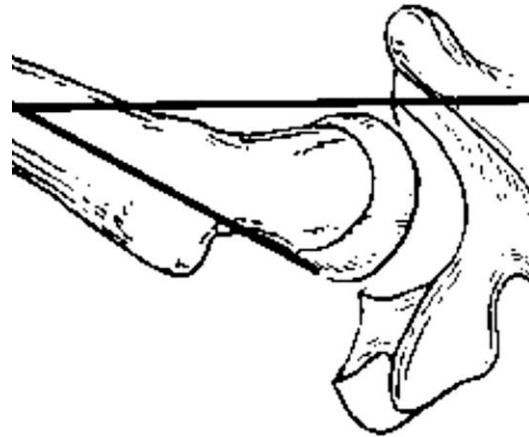


Рис. 9. Схема определения угла наклона вертлужной впадины кпереди

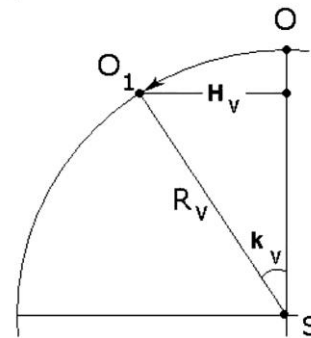
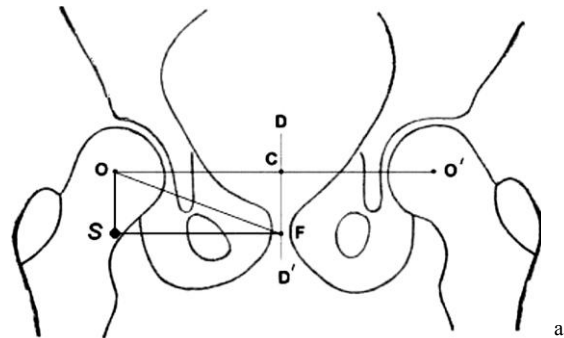


Рис. 10. Схема определения радиуса вращения наклона вертлужной впадины (а) и расчёта смещения центра вращения кпереди (б)

Как видно из рисунка 10, б, линейное смещение кинематического центра вращения тазобедренного сустава кпереди  $H_v$ , можно рассчитать по формуле:

$$H_v = |OS| \times \sin(k_v),$$

где  $k_v$  – величина планируемого наклона впадины кпереди,  $|OS|$  – радиус вращения вертлужной впадины кпереди.

Угловую величину коррекции вентриализации  $K_d$  можно рассчитать по формуле:

$$K_d = 2 \times \arcsin\left(\frac{H_v}{|SF|}\right),$$

где  $H_v$  – линейное смещение кинематического центра вращения тазобедренного сустава кпереди,  $|SF|$  – радиус вращения в горизонтальной плоскости.

<sup>2</sup> При наличии у больного ретроверсии, конечность занимала положение наружной ротации, равной сумме угла ретроверсии и нормального показателя угла антеверсии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ условий функционирования сустава, в рассмотренных выше ситуациях позволяет сделать заключение, что операция Salter, когда разворот фрагмента выполняется вокруг лонного сочленения, приводит к целому ряду биомеханических нарушений, вызывающих компрессию сустава и ротационную дисфункцию абдукторов. Поэтому данное оперативное вмешательство дополнительно требует обязательной адаптивной управляемой разгрузки сустава. Операция Salter, когда разворот фрагмента выполняется в дистальной части остеотомии, с точки зрения биомеханических условий функционирования выглядит более предпочтительной. Однако большим недостатком этой операции является фронтальное скручивание таза, что особенно не благоприятно сказывается при двусторонней дисплазии тазобедренных суставов. Учитыва-

вая возраст пациентов и большой адаптационный потенциал, эти операции являются методом выбора у детей до 4-5 лет. Операция Salter, когда разворот фрагмента выполняется вокруг лонного сочленения с дополнительной медиализацией остеотомированного фрагмента и смещением назад, является биомеханически более оптимальной, однако требует точной оценки состояния заднего края вертлужной впадины.

Используя разработанный нами алгоритм математических расчётов и геометрических измерений по скиаграммам, можно с большой точностью позиционировать кинематический центр вращения тазобедренного сустава после коррекционных разворотов, предусмотренных операцией Salter.

Это позволяет избежать негативных последствий вентриализации и латеропозиции при классическом исполнении операции Salter.

ЛИТЕРАТУРА

1. Carioiz, H. Les ostéotomies du bassin chez l'enfant et l'adolescent / H. Carioiz // 7e Congrès de l'AOLF : Livre des Résumés. - Liban, 2000. - P. 122-126.
2. Salter, R. B. Innominatly osteotomy the treatment of congenital dislocation and subluxation of the hip / R. B. Salter // J. Bone Jt. Surg. - 1961. - Vol. 43-B. - P. 518-539.
3. Соколовский, О. А. Сравнительная характеристика технологий тройных остеотомий таза / О. А. Соколовский // Травматология и ортопедия. - Режим доступа : <http://trauma.by.ru/o54.htm>.
4. Salter, R. B. Role of innominate osteotomy the treatment of congenital dislocation and subluxation of the hip in the older child / R. B. Salter // J. Bone Jt. Surg. - 1966. - Vol. 48-A, No 7. - P. 1413-1439.
5. Беленький, Б. Е. Некоторые вопросы биомеханики тазобедренных суставов : автореф. дис. . . канд. мед. наук / Б. Е. Беленький. - М., 1962. - 22 с.
6. Крюк, А. С. Остеотомия таза при врожденных вывихах бедра / А. С. Крюк, А. М. Соколовский. - Минск : Изд-во «Беларусь», 1977. - 159 с.
7. Аتمانский, И. А. Биомеханическая оценка поперечной остеотомии таза типа Chiari / И. А. Аتمانский, В. Д. Макушин, М. П. Тёпленький // Гений ортопедии. - 2007. - № 1. - С. 57-64.
8. Мирзоева, М. Н. Оперативное лечение вывиха у детей / М. Н. Мирзоева, И. И. Гончарова, Е. С. Тихоненков. - Л. : «Медицина», 1972. - 130 с.

Рукопись поступила 20.12.05.