

УДК 611.728.2:519.876.5

Математический анализ условий возникновения нестабильности тазобедренного сустава при различных анатомических отклонениях в строении проксимального отдела бедренной кости и вертлужной впадины

И.Б. Зеленецкий¹, А.В. Ярьсько²

¹ Харьковская медицинская академия последипломного образования. Украина

² ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМН Украины», Харьков

A relation between changes in parameters of the femoral, pelvic bones and actions of the hip joint (HJ) muscles was assessed on two mathematical models: I — a deviation in the neck-shaft angle (NSA) and a variation of the acetabular index (AI); II — changes in angles of anteversion (AA) of the proximal femur and frontal inclination of the acetabulum (AFIA) with regard for action of HJ muscles. It was revealed that a change of several anatomical parameters of HJ resulted in a force disbalance, which subsequently caused instability of the joint in the form of its disaxiation, decentration and disarticulation. A deviation of two parameters from their normal values resulted in a greater instability in HJ than a deviation of one parameter. The muscles which destabilized the joint most of all were as follows: in changes of NSA and AI — m. pectineus, m. adductor longus, m. adductor brevis, m. adductor magnus, m. biceps femoris; in changes of AA and AFIA — m. gluteus medius, m. gluteus minimus and m. tensor fasciae latae. Changes in anatomical parameters of TJ and a destabilizing effect of the muscles should be taken into account during surgical treatment.

Оцінено зв'язок змін параметрів стегнової, тазової кісток і дії м'язів кульшового суглобу (КС) на двох математичних моделях: I — відхилення у шийко-діафізарному куті (ШДК) та варіювання ацетабулярного індексу (АІ); II — зміни кутів антеторсії (КА) проксимального відділу стегнової кістки і фронтальної інклинації вертлюгової западини (КФІВВ) з урахуванням дії м'язів кульшового суглоба. Встановлено, що у разі змін декількох анатомічних параметрів КС виникає силовий дисбаланс, який викликає в подальшому нестабільність суглоба у вигляді його деаксациї, децентрації або дисартикуляції. Відхилення від норми двох параметрів призводить до більшої нестабільності в КС, ніж відхилення одного. Найбільш дестабілізують суглоб у разі змін ШДК і АІ такі м'язи: m. pectineus, m. adductor longus, m. adductor brevis, m. adductor magnus, m. biceps femoris, за змін кута антеторсії і КФІВВ — m. gluteus medius, m. gluteus minimus і m. tensor fasciae latae. Зміни анатомічних параметрів КС і дестабілізуювальну дію м'язів необхідно враховувати у хірургічному лікуванні.

Ключевые слова: нестабильность тазобедренного сустава, мышечный дисбаланс, математический анализ

Введение

Анатомические изменения компонентов тазобедренного сустава (ТБС) приводят к нарушениям его биомеханики во фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостях, преимущественно в виде тракционных сил, со смещением центра нагружения сустава, изменения длины плеч рычагов с развитием в дальнейшем патологической подвижности и возникновением нестабильности [5–10].

Нестабильность ТБС, с нашей точки зрения, это его структурно-функциональное состояние, характеризующееся дисбалансом сил с результирующей

в виде деаксациии–децентрации, что клинически проявляется дисартикуляцией (подвывихом, вывихом).

Цель работы: изучить влияние изменений анатомических параметров бедренной и тазовой костей и действие окружающих их мышц на стабильность в ТБС.

Материал и методы

На первом этапе исследования проводили анализ изменения направления действия каждой мышцы и ее вклада в дестабилизацию ТБС. На втором этапе анализ стабильности ТБС при одноопорном стоянии

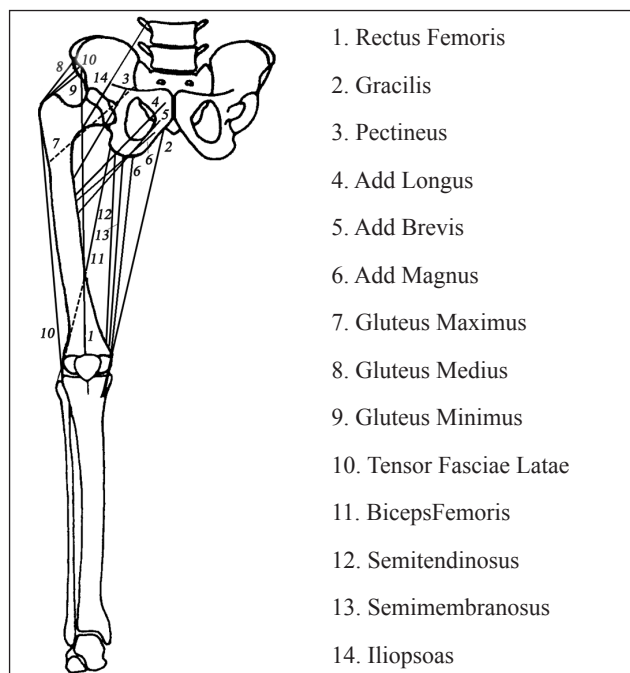


Рис. 1. Схема действия учтенных мышц

с учетом вклада всех мышц и измененных анатомических параметров бедренной и тазовой костей.

Анализ влияния анатомических отклонений в строении ТБС на стабильность сустава проводили для двух математических моделей. В первой моделировали отклонения в шеечно-диафизарном угле (ШДУ) и варьировали ацетабулярный индекс (АИ), во второй моделировали изменения угла антеторсии проксимального отдела бедренной кости (ПОБК) и угла фронтальной инклинации вертлужной впадины (УФИВВ). В моделях учитывали действие мышц тазобедренного сустава (рис. 1).

Для проведения расчетов была написана программа, основанная на статических уравнениях

Таблица. Основные характеристики мышц

Мышцы	Приведенная площадь поперечного сечения мышц	Приведенные усилия мышц при одноопорном стоянии
Rectus Femoris	1,00	0,772
Gracilis	0,14	
Pectineus	0,20	
Adductor Longus	0,39	0,3
Adductor Brevis	0,37	0,3
Adductor Magnus	1,69	0,3
Gluteus Maximus	2,50	0,81
Gluteus Medius	1,78	0,64
Gluteus Minimus	0,81	0,64
Tensor Fasciae Latae	0,21	0,18
Biceps Femoris	1,00	
Semitendinosus	0,40	
Semimembranosus	1,04	
Iliopsoas	1,29	1

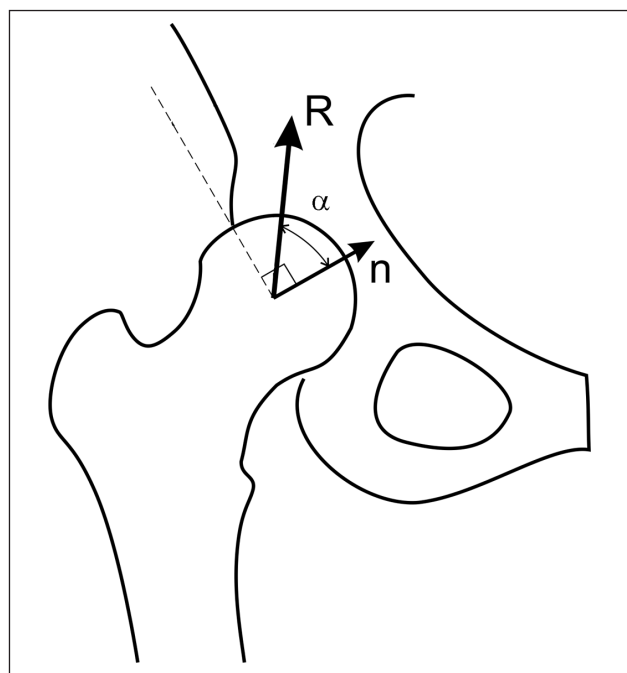


Рис. 2. Угол стабильности ТБС

равновесия твердого тела классической механики. В качестве исходных данных в программе используют координаты прикрепления мышц к тазовой и бедренной костям, площади поперечных сечений мышц, их механические характеристики и усилия. Данные о координатах точек прикрепления мышц получены самостоятельно по рентгенографическим снимкам [1–3]. Остальные характеристики взяты из литературы [4] и приведены в таблице. В модели используют приведенные площади, которые позволяют, задавая площадь поперечного сечения мышцы Rectus femoris, автоматически осуществлять пересчет площадей поперечных сечений остальных мышц [1–3]. Аналогично, в зависимости от веса тела, получают величины действия сил при одноопорном стоянии [5].

Расчетная программа автоматически пересчитывает новые расположения точек прикрепления, направление и длину мышц при изменении следующих параметров: ШДУ, АИ, угла антеторсии ПОБК и УФИВВ. Все действующие усилия мышц приводятся к главному вектору сил и главному моменту сил, приложенным в центре вертлужной впадины (точка начала координат).

Угол α между главным вектором сил R и нормалью n к плоскости входа вертлужной впадины (ВВ) определяет степень стабильности ТБС. При равенстве или превышении этого угла 90° происходит вывих в ТБС (рис. 2).

Условием, при котором происходит вывих бедра, является выход направляющего вектора резуль-

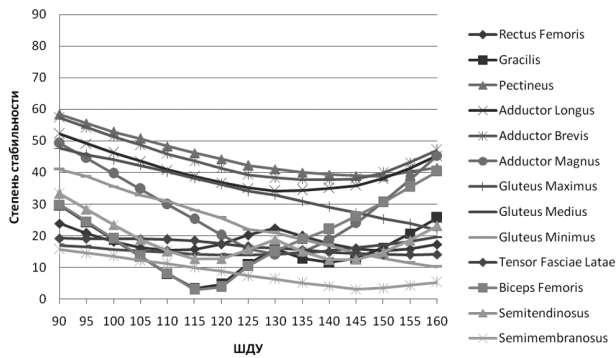


Рис. 3. Диаграмма степени влияния групп мышц на стабильность в ТБС при различных значениях ШДУ

тирующей силы действия всех мышц за границу края ВВ.

Результаты и их обсуждение

Расчет влияния на вертикальную стабильность ТБС изменения величин ШДУ и АИ.

В первом варианте расчета проводили анализ вертикальной нестабильности бедренной кости. Варьировались ШДУ и АИ (рис. 1). Для заданных углов оценивали силовой дисбаланс (влияние различных групп мышц на стабильность в тазобедренном суставе). Проводили оценку вклада каждой мышцы. Первоначально были проведены расчеты при изменении ШДУ в пределах 90–165°. Результаты представлены на рис. 3.

Анализ результатов показал, что степень влияния на стабильность ТБС при изменении ШДУ различных мышц неодинакова. Так, мышцы Rectus Femoris, Gracilis, Gluteus Medius, Tensor Fasciae Latae, Semitendinosus, Semimembranosus практически не влияют на стабильность ТБС при изменении ШДУ. Действие мышц Gluteus Minimus и Iliopsoas при увеличении ШДУ способствует стабилизации сустава. Наибольшее влияние на нестабильность в ТБС при изменении ШДУ оказывают мышцы Pectineus, Adductor Longus, Adductor Brevis, Adductor Magnus и Biceps Femoris. Их влияние на нестабильность ТБС в минимальной степени проявляется при ШДУ 125–145°, а в максимальной — при 90° и 165°. Biceps Femoris наименьшее влияние на нестабильность ТБС оказывает при ШДУ 115°, а наибольшее — при 165°.

Во втором варианте расчета проводили анализ вертикальной нестабильности бедренной кости при варьировании АИ. Первоначально были проведены расчеты при изменении АИ в пределах 15–40°. Результаты представлены на рис. 4.

Анализ результатов показал, что степень влияния мышц на стабильность ТБС при изменении АИ

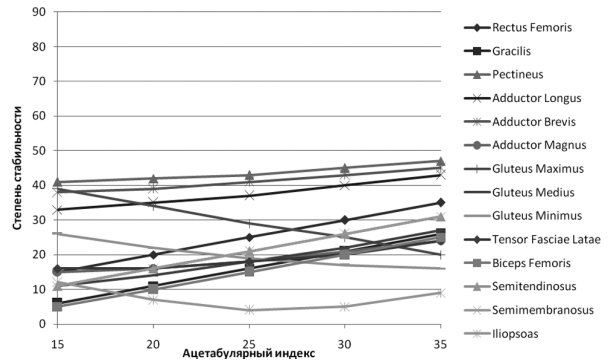


Рис. 4. Диаграмма степени влияния групп мышц на стабильность в ТБС при различных значениях АИ

имеет почти линейную зависимость. Все мышцы, кроме Gluteus Maximus, Gluteus Minimus и Iliopsoas, при возрастании значения АИ повышают нестабильность в ТБС. Действие мышц Gluteus Maximus и Gluteus Minimus при увеличении АИ способствует стабилизации сустава. Действие Iliopsoas при увеличении АИ до 25° стабилизирует ТБС, более 25° — приводит к дестабилизации сустава.

В третьем варианте расчета учитывали влияние на стабильность ТБС двух факторов — ШДУ и АИ. Результаты расчетов приведены на диаграмме (рис. 5). Сочетание изменения двух параметров оказывает существенное влияние на дисбаланс сил. Действие практически всех мышц приводит к увеличению степени нестабильности. Наибольшее влияние на дестабилизацию сустава оказывают мышцы Pectineus, Adductor Longus, Adductor Brevis, Adductor Magnus и Biceps Femoris. Мышца Gluteus Maximus способствует стабилизации в ТБС.

Таким образом, полученные результаты расчета влияния изменения ШДУ и АИ показали, что:

- аномалии строения в тазобедренном суставе приводят к перераспределению силовых усилий;

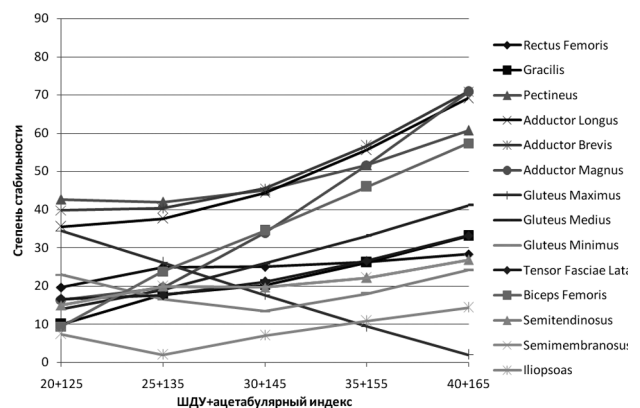


Рис. 5. Диаграмма степени влияния групп мышц на стабильность в ТБС при различных значениях ШДУ и АИ

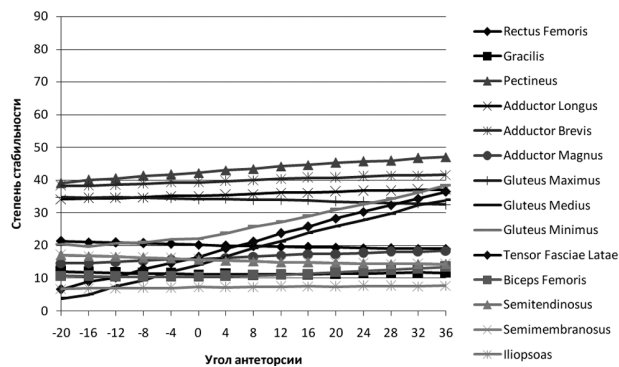


Рис. 6. Диаграмма степени влияния групп мышц на стабильность в ТБС при различных значениях торсии ПОВК

- действие различных мышц области тазобедренного сустава на его стабильность при изменении ШДУ неодинаковое. В случае превышения ШДУ границ нормы наибольший вклад в дестабилизацию сустава вносят мышцы Pectineus, Adductor Longus, Adductor Brevis, Adductor Magnus и Biceps Femoris;
- изолированное увеличение ШДУ до 165° не приводит к вывиху в ТБС;
- влияние увеличения АИ на стабильность ТБС более существенное по сравнению с изменениями ШДУ;
- при увеличении АИ действие практически всех мышц увеличивает нестабильность в ТБС;
- отклонение от нормы двух параметров (ШДУ и АИ) приводит к большей нестабильности в ТБС, чем наличие отклонения только одного параметра;
- наибольший вклад в дестабилизацию сустава вносят мышцы Adductor Longus, Adductor Brevis и Adductor Magnus.

Расчет влияния на горизонтальную стабильность ТБС изменения величин антеторсии ПОВК и фронтальной инклинации вертлужной впадины (ФИВВ).

В первом варианте расчета анализировали изменение влияния мышц на стабильность ТБС при различных углах торсии ПОВК. Угол торсии варьировал в пределах от минус 20° (ретроторсии) до 36° (антеторсии). Результаты исследования представлены на рис. 6.

Как видно из графика, изолированное увеличение угла антеторсии ПОВК практически не сказывается на влиянии мышц на стабильность ТБС. Исключение составляют мышцы Gluteus Medius, Gluteus Minimus и Tensor Fasciae Latae, степень влияния которых на дестабилизацию сустава значительно повышается с увеличением угла антеторсии.

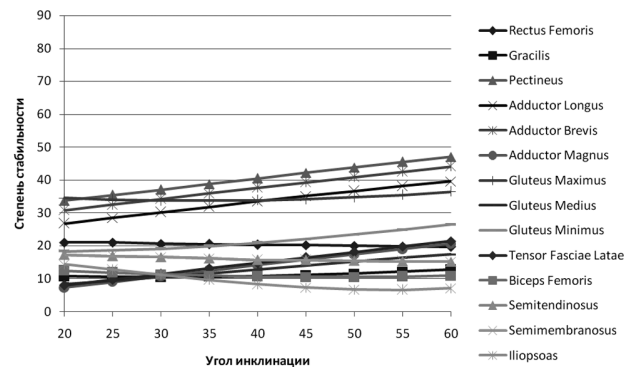


Рис. 7. Диаграмма степени влияния групп мышц на стабильность в ТБС при различных значениях УФИВВ

Второй вариант расчета был проведен при изменении УФИВВ (рис. 7). Величина угла изменялась в пределах 20–60°. В большей степени на дестабилизацию сустава оказывают влияние мышцы Pectineus, Adductor Longus, Adductor Brevis, Gluteus Maximus и в меньшей степени — Adductor Magnus, Gluteus Medius, Gluteus Minimus, Tensor Fasciae Latae. Действие остальных мышц при возрастании УФИВВ меняется незначительно.

Третий вариант расчета проводили при одновременном изменении угла антеторсии ПОВК и УФИВВ. Результаты расчета представлены на рис. 8.

Анализ результатов показал, что при увеличении угла антеторсии ПОВК и УФИВВ наибольший вклад в дестабилизацию ТБС вносят мышцы Gluteus Medius, Gluteus Minimus и Tensor Fasciae Latae. Вклад остальных мышц незначителен.

Таким образом, результаты расчетов влияния антеторсии и фронтальной инклинации ВВ показывают, что:

- изменение значений угла антеторсии ПОВК и УФИВВ в меньшей степени влияют на стабильность ТБС, чем изменения ШДУ и АИ;
- при увеличении угла антеторсии наибольший вклад в дестабилизацию сустава вносят мышцы

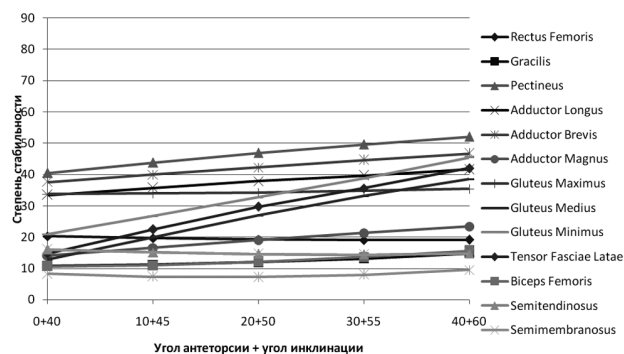


Рис. 8. Диаграмма степени влияния групп мышц на стабильность в ТБС при различных значениях угла антеторсии ПОВК и УФИВВ

- Gluteus Medius, Gluteus Minimus и Tensor Fasciae Latae;
- при увеличении угла УФИВВ наибольший вклад в дестабилизацию сустава вносят мышцы Pectineus, Adductor Longus, Adductor Brevis, Gluteus Maximus;
 - отклонение от нормы двух анатомических параметров ТБС (угла антеторсии и УФИВВ) приводит к большей его нестабильности, чем наличие отклонения только одного параметра;
 - наибольший вклад в дестабилизацию сустава при изменении двух параметров вносят мышцы Gluteus Medius, Gluteus Minimus и Tensor Fasciae Latae.

Заключение

В результате математического моделирования изменений нескольких анатомических параметров ТБС возникает силовой дисбаланс, вызывающий в последующем нестабильность сустава в виде его деаксации, децентрации или дисартрикуляции.

При исследовании стабильности ТБС выявлено, что изолированное увеличение ШДУ не создает условий для развития нестабильности в ТБС.

Увеличение скошенности крыши ВВ является более существенным моментом в возникновении нестабильности ТБС.

Наиболее весомой причиной возникновения нестабильности является увеличение параметров обоих компонентов сустава — ШДУ и АИ.

Из мышц области ТБС наибольший вклад в дальнейшую дестабилизацию сустава вносят Adductor Longus, Adductor Brevis, Adductor Magnus.

Из приведенных математических расчетов вытекают практические выводы:

1. При сочетании незначительного увеличения ШДУ и АИ предпочтительно проводить реконструкцию надвертлужной области для нормализации стабильности сустава.

2. При значительных увеличениях указанных параметров необходимо проводить многоплоскостную корригирующую остеотомию ПОВБ и надацетабулярную реконструкцию ВВ.
3. Обязательным условием в комплексном лечении является нейтрализация или снятие дестабилизирующей функции Adductor Longus, Adductor Brevis, Adductor Magnus путем тенотомии.

Литература

1. Корольков А.И. Значение децентрации в биомеханике тазобедренного сустава (математическое моделирование) / А.И. Корольков, З.М. Мителева, И.В. Лапонин // Ортопед. травматол. — 2006. — № 2. — С. 49–54.
2. Корольков А.И. Биомеханические аспекты дисплазии свода вертлужной впадины у детей (математическое моделирование) / А.И. Корольков // Ортопед. травматол. — 2006. — № 1. — С. 48–52.
3. Теоретичне та практичне обґрунтування методів діагностики, лікування та профілактики диспластичних захворювань хребта та суглобів у дітей, що призводять до інвалідації / М.О. Корж, В.А. Колесніченко, С.Д. Шевченко і співавт. // Наукові засади комплексної програми «Здоров'я нації»... — К.: «Деркул», 2007. — Вип. 1. — С. 22–38.
4. Гафаров Х.З. Лечение детей и подростков с ортопедическими заболеваниями нижних конечностей / Х.З. Гафаров. — Казань: Татарское кн. изд-во, 1995. — 384 с.
5. Евсеев В.И. Изучение патогенеза дегенеративно-дистрофических процессов в крупных суставах методом моделирования: мат. VIII съезда травматологов-ортопедов УССР / В.И. Евсеев. — Київ: Здоров'я, 1980. — 292 с.
6. Люткевич Н.И. Биомеханические аспекты дисплазии тазобедренного сустава у детей (моделирование методом конечных элементов): мат. науково-практичної конференції з міжнародною участю «Актуальні проблеми діагностики, лікування та реабілітації дітей з травмами та захворюваннями опорно-рухового апарату» / Н.И. Люткевич, А.И. Корольков, З.М. Мителева. — Київ, 2011. — С. 47–50.
7. Лечение врожденного вывиха бедра / В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, М.П. Тепленький, И.А. Атаманский. — Курган, 2006. — 1000 с.
8. Янсон Х.А. Биомеханика нижней конечности человека / Х.А. Янсон. — Рига: «Зинатне», 1975. — 324 с.
9. Croitor G. Anatomia functională sibiomecanică soldului / G. Croitor. — Ch.: Prometeu, 2006 (Combinatul Poligr.). — 104 p.
10. Rusanovschi G. Particularități de diagnostic și tratament a cox valgă displazic la copii: teza de doctor în medicină / G. Rusanovschi. — Chisinau, 2011. — 33 p.