

И. В. Гайворонский^{1, 2}, *А. А. Родионов*², *Г. И. Ничипорук*^{1, 2},
И. А. Горячева^{1, 2}, *М. Г. Гайворонская*²

КОНТРОРФОРНАЯ СИСТЕМА ТАЗА ЧЕЛОВЕКА И РОЛЬ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ В ЕЕ ФОРМИРОВАНИИ

¹ Кафедра нормальной анатомии (зав. — проф. И. В. Гайворонский), ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ; ² кафедра морфологии (зав. — проф. И. В. Гайворонский), медицинский факультет, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

В связи с вертикальным положением тела на таз человека действуют такие механические силы, как масса тела, внутренних органов, внутрибрюшное давление, тяга мышц, связочного аппарата. Под воздействием этих сил происходит моделирование костных структур — внутренних пластинок губчатого вещества и замыкательных пластинок компактного вещества, наибольшая концентрация которых происходит в местах воздействия сил сжатия и растяжения. Указанные места повышенной плотности костной ткани в составе костного таза являются его контрфорсами. Связующим фундаментом контрфорсной системы таза является крестец, воспринимающий воздействия механических сил и передающих их на тазовые кости. Авторами выделены следующие костные контрфорсы: 1 — пояснично-крестцово-подвздошно-бедренный; 2 — пояснично-крестцово-подвздошно-седалищный; 3 — крестцово-седалищный; 4 — крестцово-бедренный; 5 — крестцово-подвздошно-лобковый. Рассматривать контрфорсы таза необходимо с позиций арочных конструкций с обязательным взаимодействием контралатеральных сторон. Арочные конструкции, образованные пояснично-крестцово-подвздошно-бедренным, крестцово-бедренным и крестцово-подвздошно-лобковыми контрфорсами, функционируют при вертикальном положении тела, а пояснично-крестцово-подвздошно-седалищные и крестцово-седалищные контрфорсы — при сидячем положении тела. Важнейшую роль в формировании и поддержании костных контрфорсов также играют скелетные мышцы, прикрепляющиеся к костям таза. Они не только изменяют его костную структуру, но и передают напряжение при своем сокращении на другие кости, формируя мышечные контрфорсные системы. В работе доказано наличие следующих костно-мышечных контрфорсов: 1 — наружного и внутреннего подвздошно-бедренного; 2 — наружного и внутреннего запирающе-бедренного; 3 — лобково-седалищно-бедренно-большеберцового; 4 — седалищно-большеберцово-малоберцового контрфорсов. Показано, что таз является важнейшей частью опорно-двигательного аппарата человека и стабилизационным кольцом для свободной нижней конечности.

Ключевые слова: *костный контрфорс таза, костно-мышечный контрфорс, арочные конструкции таза, мышцы таза, мышцы бедра, бедренная кость, костно-мышечный комплекс таза*

Таз является важнейшей частью опорно-двигательного аппарата человека. Он представляет собой своеобразное стабилизационное кольцо для свободной нижней конечности, которое выполняет роль опорного пояса. Последний включает в себя мощный костный остов, связочный аппарат, а также развитую мускулатуру. В совокупности перечисленные структуры формируют сложную биомеханическую систему.

Действие механических сил обуславливает моделирование внутренней структуры губчатого, компактного веществ тазовых костей и крестца. Скопления пластинок компактного вещества, расположенных в определенных направлениях, распределяющих напряжение при нагрузке и пере-

дающих его не только на губчатое вещество данной кости, но и на рядом расположенные кости, получили название «контрфорсов». В связи с тем, что в данном определении рассматриваются только костные структуры, правильным следует считать «костные контрфорсы».

К механическим силам, обуславливающим особенности строения костей таза и его контрфорсной системы, относят массу тела, внутренних органов, внутрибрюшное давление, тягу мышц [14, 39].

Структура костных балок губчатого и компактного веществ костей изменяется в местах прикрепления мышц, что связано с особенностями их тяги. J. C. Ferre и соавт. [21], согласно

Сведения об авторах:

Гайворонский Иван Васильевич, Ничипорук Геннадий Иванович, Горячева Инга Александровна, кафедра нормальной анатомии, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, 6

Родионов Алексей Анатольевич, Гайворонская Мария Георгиевна (e-mail: solnushko12@mail.ru), кафедра морфологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

полученным анатомическим данным и физико-математическому моделированию контрфорсов черепа, считают скелетные мышцы их составной частью, так как они могут передавать большую часть напряжений, возникающих при их сокращении между двумя костными точками на другие кости. Многие авторы считают также, что в понятие контрфорсной системы следует включать не только костные структуры, а также связочный аппарат и скелетные мышцы, прикрепляющиеся к ним [7, 9, 14, 23, 32–34].

По нашему мнению, в опорном поясе (костном тазу) можно выделить три кольца, имеющих отношение к костной контрфорсной системе таза и являющихся линиями распределения сил сжатия—растяжения.

Первое кольцо расположено в области большого таза. Оно представлено IV и V поясничными позвонками, подвздошно-поясничной связкой, гребнем подвздошной кости, паховой связкой и верхней лобковой связкой. В некоторых случаях поперечный отросток V поясничного позвонка образует сустав с гребнем подвздошной кости, называемый поперечно-подвздошным. При таком варианте строения этот сустав также необходимо включать в состав первого кольца.

Второе костное кольцо располагается в пределах входа в малый таз и ограничено пограничной линией. Данное кольцо представлено тремя верхними крестцовыми позвонками, межкостной, передней и задней крестцово-подвздошными связками, дугообразной линией подвздошной кости, телом, верхней ветвью лобковой кости, а также симфизом. Плоскость входа этого кольца относительно горизонтальной плоскости составляет угол в 60° , что выгодно для поддержания равновесия тела при его вертикальном положении [8].

Третье костное кольцо расположено в пределах выхода из малого таза. Оно образовано латеральными краями нижних отделов крестца, крестцово-бугорной связкой, седалищным бугром, ветвью седалищной кости, нижней ветвью лобковой кости и нижней лобковой связкой. Важно отметить, что второе и третье кольца не только обеспечивают прочную связь структур таза, но и препятствуют раздвиганию в стороны его симметричных частей.

В состав второго и третьего костных колец входит крестец, имеющий форму клина. Он под тяжестью всего тела стремится раздвинуть тазовые кости с поворотом своего основания вперед. Еще П. Ф. Лесгафт [6] указывал, что крестец играет роль своеобразного «ключа», обеспечивающего не только целостность таза,

но и передачу механического давления на тазовые кости, формируя контрфорсную систему. Можно полагать, что крестец — это своеобразный «фундамент» опорной конструкции позвоночного столба, воспринимающей массу всего тела и распределяющей её на тазовые кости [2, 7, 40, 41, 43].

Опорной функции таза способствуют его вертикальное сжатие, боковое расширение и увеличение переднезадних размеров крыльев подвздошных костей. Отличительные особенности таза человека обусловлены, в первую очередь, прямохождением, при котором вся тяжесть тела переносится на таз [1, 2, 4, 5, 7, 11, 16, 24, 25, 27, 32].

Многие авторы [10–12, 26–28, 31] отмечают, что прямохождение привело к появлению у человека следующих особенностей строения таза:

- 1) сильное развитие таза в ширину и его укороченность;
- 2) наличие широких и сильно вогнутых крыльев подвздошных костей, образующих вместе и опору для внутренностей;
- 3) его мощное скрепление с крестцом;
- 4) увеличение широтных размеров крестца с большими ушковидными поверхностями, что изменяет расстояние между крестцово-подвздошными суставами;
- 5) увеличение угла, образуемого шейкой и диафизом бедренной кости;
- 6) сильное развитие, особый способ прикрепления мышц и связок в области тазобедренного сустава;
- 7) резкое дорсальное отклонение крестцовой части подвздошной кости с образованием седалищной вырезки;
- 8) уменьшение высоты подвздошной кости сближает крестцово-подвздошный и тазобедренный суставы, тем самым уменьшая силовое давление массы верхней части тела на тазобедренный сустав;
- 9) наибольшее развитие седалищной ости, что привело к изменению направления крестцово-бугорной и крестцово-остистой связок (последние предотвращают смещение крестца назад при вертикальной нагрузке);
- 10) хорошо выраженный направленный назад и кнаружи седалищный бугор;
- 11) укорочение лобкового симфиза, смещение его вниз и назад, что связано с увеличением угла между ветвями лобковых костей.

Такие эволюционные изменения таза человека облегчили его конструкцию, изменили конфигурацию тазовых костей, что привело к выгодному увеличению сопротивляемости механической нагрузке, связанной с толчками, возникающими при ходьбе, беге и прыжках [1, 3, 4, 7, 8, 42].

Формообразующее влияние мышц на строение костей таза и бедра описано в работах П. Ф. Лесгафта [5], А. Г. Кочеткова и соавт. [6]. Согласно исследованиям М. Dalstra, R. Huiskes [16], в формировании контрфорсной системы таза в общей сложности принимают участие 20 мышц.

В доступных литературных источниках отмечается, что мышечные взаимодействия влияют на трабекулярную архитектуру костей таза уже в плодном периоде [8, 12, 13, 15, 17–19, 35]. У новорожденного уже есть предопределенный генетический шаблон трабекулярной структуры тазовых костей и крестца. В то же время, авторы утверждают, что этот генетический шаблон в процессе последующего онтогенеза может быть изменен различными механическими, анатомическими, ангиогенными и неврогенными факторами, направленными на обеспечение оптимальной трабекулярной архитектоники.

По современной классификации, тазовые кости относят к плоским костям, состоящим преимущественно из губчатого вещества, покрытого снаружи тонким слоем компактного. Губчатое вещество состоит из костных балок (пластинок), ориентация которых обусловлена кривыми сжатия и растяжения. Такое расположение костных балок способствует равномерной передаче вертикального давления, а также тяге мышц, прикрепляющихся к тазовой кости. Компактное вещество представлено сплошной костной массой, которая определяет форму, прочность и упругость тазовой кости. Следует отметить, что строение костных балок губчатого вещества и структура компактного вещества тазовых костей в местах прикрепления различных мышц существенно отличаются.

В зарубежной литературе имеются значительное количество работ, посвященных изучению балочной (трабекулярной) структуры костей таза и бедренной кости [12, 14, 20, 22, 26, 28–30, 36–39, 41]. Однако данные трабекулярные системы они описывают без связи с контрфорсной системой таза, которой по своей сути и являются.

G. Stancu и соавт. [38] в строении губчатого вещества костей таза выделяют только две трабекулярные системы — крестцово-вертлужную и крестцово-седалищную, так как они передают основное давление, оказываемое на таз.

Ю. М. Аникин и соавт. [3], на основании результатов исследования рентгенограмм препаратов таза и таза живых людей, выделяют всего 3 парных контрфорса: позвоночно-бедренный, лобково-крыловой и седалищно-остевой. Авторы отмечают, что описанные ими контрфорсы определены как участки повышенной плотности костной ткани, и подчеркивают их асимметрич-

ность. Следует обратить внимание на сделанный авторами вывод: контрфорсы распространяются за пределы отдельных костей и даже выходят за пределы таза. Они позволяют функционально и морфологически связать воедино позвоночный столб, тазовые кости и нижние конечности. К сожалению, в данной статье отсутствуют суждения о факторах и структурах, обеспечивающих передачу напряжений с одной кости на другую в местах их повышенной нагруженности.

По нашему мнению, рассматривать трабекулярные системы таза, передающие и распределяющие силовое давление массы тела, необходимо с позиции арочных конструкций с обязательным взаимодействием контралатеральных сторон (рис. 1).

Таз, представляющий собой непрерывное замкнутое кольцо, передает вертикально направленную нагрузку от позвоночного столба на оба тазобедренных сустава, а также на седалищные бугры и лобковые кости. При вертикальном положении тела функционируют три арочных конструкции, передающих и распределяющих силовое давление массы тела, а при сидячем положении — две арочных конструкции.

Из биомеханики известно, что арочные структуры чрезвычайно устойчивы к создаваемым напряжениям и выдерживают нагрузку в 4–5 раз большую по сравнению с плоскостными конструкциями.

Первая арочная трабекулярная конструкция принимает давление массы тела от V поясничного, I крестцового позвонков, а затем простирается от верхней части ушковидной поверхности подвздошной кости к верхнелатеральной поверхности вертлужной впадины. Далее силовые линии этой системы переходят на трабекулярную систему латеральной поверхности головки, шейки бедренной кости и заканчиваются в кортикальном слое внутренней поверхности ее диафиза. Эта система трабекул передает основную силу тяжести тела на бедренную кость.

Вторая арочная трабекулярная конструкция воспринимает давление от II крестцового позвонка и проходит по нижней части ушковидной поверхности подвздошной кости, по границе большой седалищной вырезки к верхнемедиальной поверхности вертлужной впадины. Далее силовые линии этих трабекул переходят на трабекулы нижнемедиальной части головки и шейки бедренной кости и заканчиваются в кортикальном слое наружной поверхности диафиза ниже большого вертела. В области шейки бедренной кости силовые линии первой и второй трабекулярных систем перекрещиваются под углом 45°, что способствует

более равномерной передаче давления массы тела на бедренные кости.

По нашему мнению, первая и вторая тазовые арочные трабекулярные конструкции представляют пояснично-крестцово-подвздошно-бедренный контрфорс. Совместно с V поясничным, I и II крестцовыми позвонками эти трабекулярные арочные конструкции распределяют давление массы тела на головки бедренных костей. При этом, указанные позвонки замыкают правую и левую половины трабекулярных систем.

Третья тазовая арочная трабекулярная конструкция принимает силовое давление от I, II и III крестцовых позвонков и передает его на всю площадь ушковидной поверхности крестца. Трабекулы этой конструкции идут вдоль пограничной линии малого таза до лобкового симфиза и образуют крестцово-подвздошно-лобковую трабекулярную систему, замыкающую тазовое кольцо. Учитывая, что на эту трабекулярную систему, кроме массы тела, воздействует тяга мышц брюшного пресса и тазового дна, ее целесообразно включить в состав крестцово-подвздошно-лобкового контрфорса.

Лобковая и подвздошная кости испытывают влияние мышц брюшного пресса. Прямые, косые и поперечные мышцы живота при своем сокращении пытаются сместить эти кости вверх. Антагонистами этих мышц являются мышцы диафрагмы таза: мышца, поднимающая задний проход, копчиковая мышца и наружный сфинктер заднего прохода. По нашему мнению, поверхностные и глубокие поперечные мышцы промежности

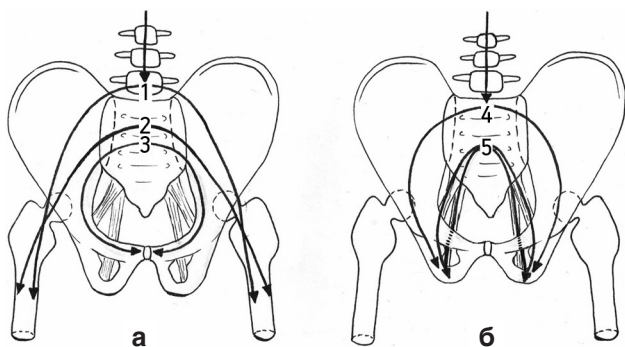


Рис. 1. Арочные трабекулярные конструкции таза, передающие и распределяющие силовое давление массы тела.

а — при вертикальном положении тела; б — при сидячем положении. 1 — первая арочная конструкция, передающая давление с V поясничного и I крестцового позвонков на бедренную кость; 2 — вторая арочная конструкция, передающая давление со II крестцового позвонка на бедренную кость; 3 — третья арочная конструкция, передающая давление с III крестцового позвонка на лобковый симфиз; 4 — четвертая арочная конструкция, передающая давление с I–II крестцовых позвонков на седалищный бугор; 5 — пятая арочная конструкция, передающая давление с III–IV крестцовых позвонков на седалищный бугор

вместе с сухожильным центром образуют межседалищный контрфорс, который препятствует расхождению седалищных бугров при сокращении мышц живота. Последние, прикрепляясь к крыльям подвздошных костей, способствуют их сближению. Таким образом, поперечные мышцы промежности не только участвуют в поддержке органов малого таза, но и являются составной частью контрфорсной системы таза, обеспечивающей его механическую устойчивость.

Смещению костей таза вверх также препятствуют ягодичные мышцы и приводящие мышцы бедра. Об их участии в контрфорсной системе таза будет сказано ниже.

Четвертая и пятая арочные трабекулярные конструкции принимают и распределяют давление массы тела при сидячем положении. Четвертая арочная конструкция начинается от I–II крестцовых позвонков, идет по верхней части ушковидной поверхности подвздошной кости к нижнелатеральной поверхности вертлужной впадины и по ветви седалищной кости к ее бугру. Вершина пятой арочной конструкции находится на уровне III–IV крестцовых позвонков. Силовое давление от них передается по крестцово-остистым и крестцово-бугорным связкам к седалищным буграм. Четвертая и пятая арочные конструкции входят в состав пояснично-крестцово-подвздошно-седалищного контрфорса.

Отмеченные сведения об арочных конструкциях таза побудили нас рассмотреть морфобиомеханические характеристики контрфорсной системы таза комплексно, т.е. с учётом костных структур, связочного аппарата и наиболее значимых мышц.

Главным контрфорсом таза мы считаем пояснично-крестцово-подвздошно-бедренный контрфорс (рис. 2). При вертикальном положении он передает массу верхней части тела на свободную нижнюю конечность.

При сидячем положении тела человека этот контрфорс практически не функционирует, а основная роль в перераспределении вертикальной нагрузки ложится на пояснично-крестцово-подвздошно-седалищный контрфорс. Дополняет его действие крестцово-седалищный контрфорс, в образовании которого принимают участие крестцово-остистая, крестцово-бугорная связки, а также одна из мышц тазового дна — копчиковая мышца.

В образовании парных подвздошно-бедренных контрфорсов участвуют ягодичные и подвздошные мышцы, прикрепляясь к наружным и внутренним поверхностям крыльев подвздошных костей (рис. 3). Наружный подвздошно-

бедренный мышечный контрфорс формируется тягой трех мощных ягодичных мышц, при сокращении которых обеспечивается передача напряжений с подвздошной кости на бедренную. Данный контрфорс вызывает отклонение (развертывание) крыльев подвздошных костей латерально, создавая дополнительную опору для внутренних стоек, предотвращая их смещение в полость малого таза и уменьшая давление на тазовое дно.

Ягодичные мышцы вызывают не только отклонение крыльев подвздошных костей. Благодаря действию этих мышц, стремящихся удержать тело в вертикальном положении, создается равнодействующая сила тяжести, направленная не строго вертикально вниз, а наружу, что привело к появлению удлиненной шейки бедренной кости. Последняя увеличивает плечо силы, а следовательно, и момент вращения.

На длину плеча силы влияет и величина шеечно-диафизарного угла, который с возрастом уменьшается (от 140° — у новорожденного до 128° — у взрослого). Уменьшение данного угла обеспечивает удлинение плеча силы, увеличивает силу ягодичных мышц, степень выраженности наружного подвздошно-бедренного контрфорса. На степень выраженности этого контрфорса также влияет и положение конечностей: соха vara (варусная деформация шейки бедренной кости) или соха valga (вальгусная деформация шейки бедренной кости).

Подвздошная мышца по сравнению с ягодичными мышцами оказывает меньшее давление на внутреннюю компактную пластинку крыла подвздошной кости, что и приводит к отклонению крыла кнаружи. Совместно подвздошная и поясничная мышцы участвуют в формировании двух контрфорсов: подвздошно-бедренного и позвоночно-бедренного, которые при сокращении обеспечивают передачу напряжений с поясничных позвонков и крыла подвздошной кости на бедренную кость. Мышечные пояснично-подвздошно-бедренные контрфорсы также играют важную роль в стабилизации первого тазового кольца, расположенного в области большого таза.

Наружная и внутренняя запирающие мышцы начинаются от костных структур, ограничивающих запирающее отверстие, и от одноименной мембраны. Они участвуют в формировании мышечных запирающе-бедренных контрфорсов. Одновременное сокращение указанных мышц при фиксированной нижней конечности приводит к стабилизации положения тазовой кости. Важную роль в передаче давления с крестца на бедренную и седалищную кости игра-

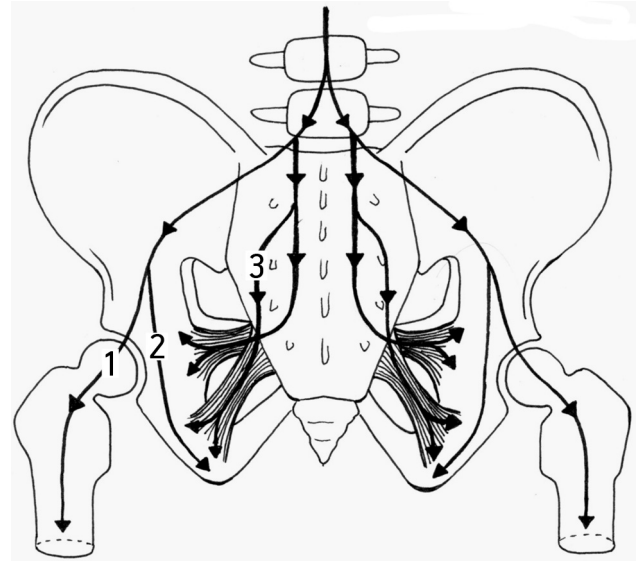


Рис. 2. Контрфорсные системы костного таза.

1 — пояснично-крестцово-подвздошно-бедренный контрфорс; 2 — пояснично-крестцово-подвздошно-седалищный контрфорс; 3 — крестцово-седалищный контрфорс

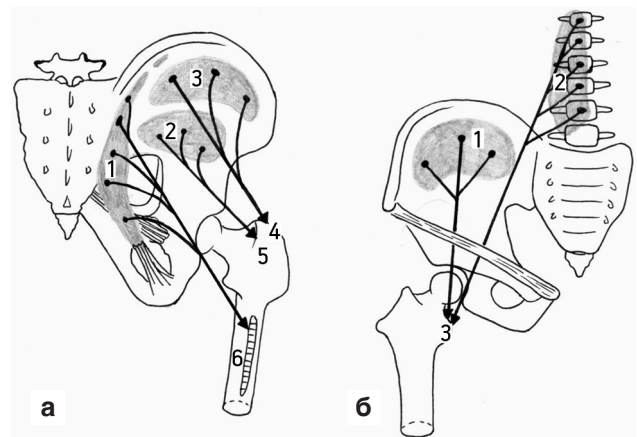


Рис. 3. Мышцы таза, обеспечивающие передачу напряжения с наружного и внутреннего подвздошно-бедренных и позвоночно-бедренного контрфорсов на бедренную кость.

а — наружный мышечный подвздошно-бедренный контрфорс (вид сзади): 1 — начало большой ягодичной мышцы, 2 — начало малой ягодичной мышцы, 4 — большой вертел, 5 — вертельная ямка, 6 — ягодичная бугристость. Стрелки — передача напряжений с подвздошной кости на бедренную при сокращении ягодичных мышц; б — внутренний мышечный подвздошно-бедренный и мышечный позвоночно-бедренный контрфорсы (вид спереди): 1 — начало подвздошной мышцы; 2 — начало большой поясничной мышцы; 3 — малый вертел (прикрепление подвздошно-поясничной мышцы). Стрелки — передача напряжений с крыла подвздошной кости и тел позвонков на бедренную кость при сокращении подвздошно-поясничной мышцы

ют мышечные крестцово-бедренный и крестцово-седалищный контрфорсы (рис. 4).

Мышечный крестцово-бедренный контрфорс формируется с участием грушевидной мышцы,

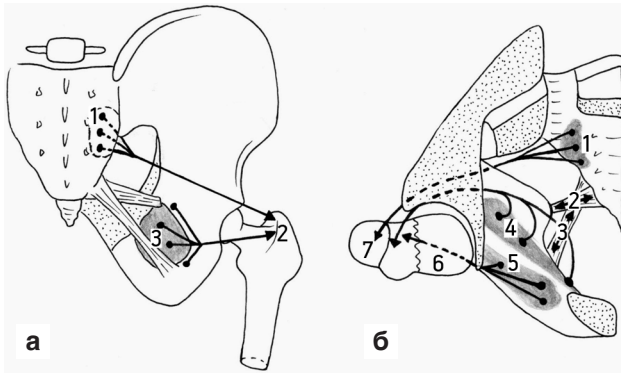


Рис. 4. Мышцы таза, участвующие в формировании запираательно-бедренных, крестцово-бедренного и крестцово-седалищного контрфорсов.

а — наружный мышечный запираательно-бедренный и крестцово-бедренный контрфорсы (вид сзади): 1 — начало грушевидной мышцы; 2 — большой вертел бедренной кости; 3 — начало наружной запирательной мышцы. Стрелки — передача напряжений с крестца (для грушевидной мышцы) и тазовой кости (для наружной запирательной) на бедренную кость при сокращении этих мышц; б — внутренний мышечный запираательно-бедренный, крестцово-бедренный и крестцово-седалищный контрфорсы (вид сверху): 1 — начало грушевидной мышцы; 2 — крестцово-остистая связка; 3 — крестцово-бугорная связка; 4 — начало внутренней запирательной мышцы; 5 — начало наружной запирательной мышцы; 6 — головка бедренной кости; 7 — большой вертел. Стрелки — передача напряжений с тазовой кости и крестца на бедренную кость при сокращении запирательных и грушевидной мышц

начинающейся от внутренней поверхности крестца и прикрепляющейся к верхушке большого вертела бедренной кости. При фиксированных свободных нижних конечностях сокращение грушевидных мышц с обеих сторон напрягает балочную структуру и компактное вещество передней поверхности крестца. В образовании крестцово-седалищного контрфорса принимают участие крестцово-остистая и крестцово-бугорная связки, начинающиеся от боковой поверхности крестца, а прикрепляющиеся к седалищной ости и седалищному бугру соответственно.

Мышцы медиальной (приводящей) группы бедра (тонкая, гребенчатая, длинная, короткая и большая приводящие) начинаются от верхней и нижней ветвей лобковой кости, седалищного бугра, ветви седалищной кости и прикрепляются к медиальной губе шероховатой линии, медиальному мыщелку бедренной кости и бугристости большеберцовой кости. Сокращение этих мышц способствует напряжению компактного вещества лобковой, седалищной, бедренной и большеберцовой костей, передавая это усилие на трабекулы их губчатого вещества, формируя мышечный лобково-седалищно-бедренно-большеберцовый контрфорс (рис. 5).

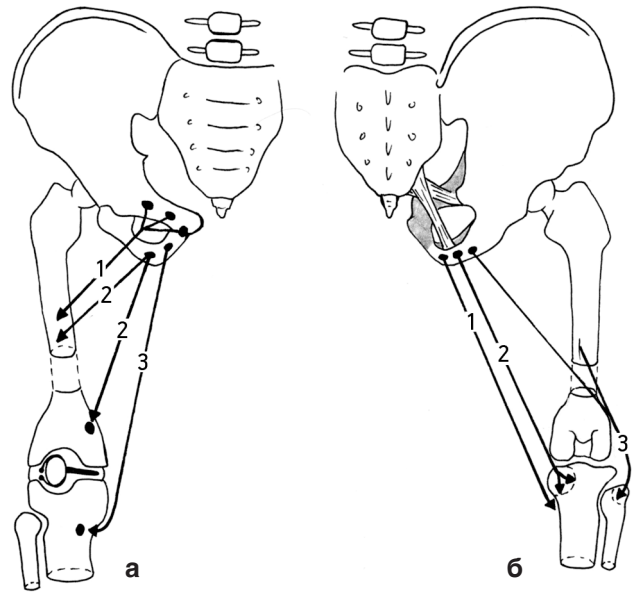


Рис. 5. Мышцы, участвующие в формировании лобково-седалищно-бедренно-большеберцового и седалищно-большеберцово-малоберцового контрфорсов.

а — мышечный лобково-седалищно-бедренно-большеберцовый контрфорс: 1 — гребенчатая мышца; 2 — короткая и большая приводящая мышцы; 3 — тонкая мышца; б — мышечный седалищно-большеберцово-малоберцовый контрфорс: 1 — полусухожильная мышца; 2 — полуперепончатая мышца; 3 — двуглавая мышца бедра

Последним контрфорсом в составе костно-мышечного комплекса таза мы рассматриваем мышечный седалищно-большеберцово-малоберцовый контрфорс. Он образован задней группой мышц бедра (двуглавая мышца бедра, полусухожильная и полуперепончатая мышцы), имеющих общее начало на седалищном бугре. Данные мышцы прикрепляются к бугристости большеберцовой и головке малоберцовой костей. При разгибании бедра они способствуют напряжению компактного вещества и балочной структуры седалищного бугра, большеберцовой и малоберцовой костей.

Таким образом, таз является важнейшей частью опорно-двигательного аппарата человека и стабилизационным кольцом для свободной нижней конечности. В связи с вертикальным положением на таз человека действуют масса тела, внутренностей, внутрибрюшное давление, тяга мышц, связочного аппарата. Под воздействием указанных факторов происходит изменение костных структур — пластинок губчатого вещества и замыкательных пластинок компактного вещества. Наибольшая концентрация внутренних пластинок и значительное утолщение компактного вещества происходят в местах воздействия сил сжатия и растяжения, формируя его костную контрфорсную систему. В перераспреде-

лении нагрузки важная роль также принадлежит арокным трабекулярным конструкциям.

Связующим фундаментом контрфорсной системы таза является крестец, воспринимающий воздействия механических сил и передающих их на тазовые кости. По нашему мнению, важной составной частью контрфорсной системы таза являются скелетные мышцы, прикрепляющиеся к костному тазовому кольцу. Они не только изменяют его костную структуру, но и передают напряжение при своем сокращении на другие кости, формируя мышечные контрфорсные системы. Следовательно, в понятие контрфорсной системы таза необходимо включать не только костный таз, его связочный аппарат, а также мышечные контрфорсные системы.

ЛИТЕРАТУРА

- Аникин Ю.М. Биомеханические аспекты организации скелета конечностей человека // Российский журнал биомеханики. 2000. Т. 4, № 1. С. 80–83 [Anikin Yu.M. Biomechanical aspects of the organization of the skeleton of human limbs // Rossiiskii zhurnal biomekhaniki. 2000. Vol. 4, № 1. P. 80–83. In Russ.].
- Аникин Ю.М., Колесников Л.Л. Функциональная анатомия и биомеханика позвоночного столба человека // Российские морфологические ведомости. 1997. № 1(6). С. 26–32 [Anikin Yu.M., Kolesnikov L.L. Functional anatomy and biomechanics of the human spinal column // Rossiiskie morfologicheskie vedomosti. 1997. № 1 (6). P. 26–32. In Russ.].
- Аникин Ю.М., Колесников Л.Л., Кузнецов Л.Е., Цыбулькин А.Г. Контрфорсы костей таза человека // Русский журнал биомеханики. 1999. Т. 3, № 3. С. 78–81 [Anikin Yu.M., Kolesnikov L.L., Kuznetsov L.E., Tsybulkin A.G. Buttresses of human pelvic bones // Russkii zhurnal biomekhaniki. 1999. Vol. 3, № 3. P. 78–81. In Russ.].
- Капанджи А.И. Нижняя конечность. Функциональная анатомия. М.: Эксмо. 2017. Т. 2. 352 с. [Kapandji A.I. Lower limb. Functional anatomy. M.: Eksmo. 2017. Vol. 2. 352 p. In Russ.].
- Кочетков А.Г., Сорокин А.П., Стельникова И.Г. Общая анатомия опорных структур человеческого организма. Нижний Новгород: НГМИ, 1992. 89 с. [Kochetkov A.G., Sorokin A.P., Stelnikova I.G. General anatomy of the supporting structures of the human body. Nizhnii Novgorod: NGMI, 1992. 89 p. In Russ.].
- Лесгафт П.Ф. Основы теоретической анатомии. СПб.: Общ-во худож. печати, 1905. Ч.1. 351 с. [Lesgaft P.F. Fundamentals of theoretical anatomy. SPb.: Obshchestvo khudozhestvennoi pečati, 1905. Part 1. 351 p. In Russ.].
- Новосельцев С.В., Симкин Д.Б. Крестец. Анатомо-функциональные взаимосвязи и роль в биомеханике тела человека // Мануальная терапия. 2008. № 3. С. 89–99 [Novosel'cev S.V., Simkin D.B. Sacrum. Anatomical and functional relationships and the role in the biomechanics of the human body // Manual'naya terapiya. 2008. № 3. P. 89–99].
- Орел А.М. Модели напряженной целостности (Tensegrity-модели) в биомеханике позвоночника // В помощь практическому врачу. 2009. № 4 (36). С. 84–96 [Orel A.M. Tense integrity models (Tensegrity-models) in spine biomechanics // V pomoshch' prakticheskomu vrachu. 2009. № 4 (36). P. 84–96. In Russ.].
- Серов М.А., Родионов А.А., Шатохин Н.В. Расчет нагрузки в области тазового кольца. Математическая морфология // Электронный математический медико-биологический журнал. 2006. Т. 9, вып. 4. С. 1–5 [Serov M.A., Rodionov A.A., Shatohin N.V. Calculation of the load in the pelvic ring. Matematicheskaja morfologija // Elektronnyi matematicheskii mediko-biologicheskii zhurnal. 2006. Vol. 9, № 4. P. 1–5. In Russ.]. URL: [http://www.Smolensk.ru/user/\(sgma\)/\(MMORPH\)-12.html](http://www.Smolensk.ru/user/(sgma)/(MMORPH)-12.html)
- Харрисон Дж., Уайнер Дж., Таннер Дж. Биология человека. М.: Мир, 1968. 440 с. [Harrison J., Wiener J., Tanner J. Human biology. M.: Mir, 1968. 440 p. In Russ.].
- Aiello L., Dean C. An Introduction to human evolutionary anatomy. San Diego: Academic Press, 1990. 608 p.
- Churchill S.E., Vansickle C. Pelvic morphology in homo erectus and early homo // Anat. Rec. 2017. Vol. 300. P. 964–977.
- Cunningham C.A., Black S.M. Anticipating bipedalism: trabecular organization in the newborn ilium // J. Anat. 2009. Vol. 214. P. 817–829.
- Cunningham C.A., Black S.M. The neonatal ilium-metaphyseal drivers and vascular passengers // Anat. Rec. (Hoboken). 2010. Vol. 293. P. 1297–1309.
- Dalsrta M., Huiskes R., van Erning L. Development and validation of a three-dimensional finite element model of the pelvic bone // J. Biomech. Engin. 1995. Vol. 117. P. 272–278.
- Dalstra M., Huiskes R. Load transfer across the pelvic bone // J. Biomech. 1995. Vol. 28. P. 715–724.
- Delaere O., Kok V., Nyssen-Behets C., Dhem A. Ossification of the human fetal ileum // Acta Anat. 1992. Vol. 143. P. 330–334.
- Deguette C., Ramond-Roquin A., Rougé-Maillart C. Relationships between age and microarchitectural descriptors of iliac trabecular bone determined by microCT // Morphologie. 2017. Vol. 101. P. 64–70.
- Dostal W.F., Andrews J.G. A three-dimensional biomechanical model of hip musculature // J. Biomech. 1981. Vol. 14. P. 802–812.
- Easley D.C., Abramowitz S.D., Moalli P.A. Female pelvic floor biomechanics: bridging the gap // Cuzz Opin. Urol. 2017. Vol. 27 (3). P. 262–267.
- Ferre J.C., Barbin J.Y., Helary J.L. The mandible, an overhanging mechanically suspended structure. Considerations on the system of attachment and servo-command of the mandible // Anat. Clin. 1984. Vol. 6. P. 3–10.
- Glorieux F.H., Travers R., Taylor A. et al. Normative data for iliac bone histomorphometry in growing children // Bone. 2000. Vol. 26. P. 103–109.
- Graig A., Black S.M. Anticipating bipedalism: trabecular organization in the newborn ileum // J. Anat. 2009. Vol. 214. P. 817–829.
- Hammond A.S., Almecija S. Lower ilium evolution in Apes and Hominins // Anat. Rec. 2017. Vol. 300. P. 828–844.
- Hao Z., Wan C., Gao X., Si T. The effect of boundary condition on the biomechanics of a human pelvic joint under an axial compressive load: A three-dimensional finite element model // J. Biomech. Engin. 2011. Vol. 133. P. 101006–101009.
- Hogervorst T., Bouma H.W., de Vos J. Evolution of the hip and pelvis // Acta Osthop. 2009. Vol. 80. Suppl. 336. P. 1–39.

27. Holm N.J. The internal stress pattern of the os coxae // *Acta Orthop. Scand.* 1980. Vol. 51. P. 421–428.
28. Keaveny T.M., Morgan E.F., Niebur G.L., Yeh O.C. Biomechanics of trabecular bone // *Ann. Rev. Biomed. Eng.* 2001. Vol. 3. P. 307–333.
29. Leung A.S., Gordon L.M., Skrinikas T. et al. Effects of bone density alterations on strain patterns in the pelvis: application of a finite element model // *Proc. Inst. Mech. Eng.* 2009. № 223 (8). P. 965–979.
30. Lewton K.L. In vitro bone strain distributions in a sample of primate pelvis // *J. Anat.* 2015. Vol. 226, № 5. P. 458–477.
31. Majumder S., Roychowdhury A., Pal S. Variations of stress in pelvic bone during normal walking, considering all active muscles // *Thends Biomater Artif. Organs.* 2004. Vol. 17. P. 48–53.
32. Pedersen D.R., Brand R.A., Davy D.T. Pelvic muscle and acetabular contact forces during gait // *J. Biomech.* 1997. Vol. 30. P. 959–965.
33. Putz R., Müller-Gerbl. Anatomische Besonderheiten des Beckenrings // *Unfallchirurg.* 1992. Vol. 95. P. 164–167.
34. Ripamonti U. Soluble osteogenic molecular signal and the induction of bone formation // *Biomaterials.* 2006. Vol. 27. P. 807–822.
35. Rook L., Bondioli L., Kohles M. et al. Oreopithecus was a bipedal ape after all: Evidence from the iliac cancellous architecture // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1999. Vol. 96. P. 8795–8799.
36. Ryan T.M., Ketcham R.A. Femoral head trabecular bone structure in two omomyid primates // *J. Hum. Evol.* 2002. Vol. 43. P. 241–263.
37. Ryan T.M., Krovitz G.E. Trabecular bone ontogeny in the human proximal femur // *J. Hum. Evol.* 2006. Vol. 51. P. 591–602.
38. Stancu G., Şişu A., Stancu G., Petrescu C. Morphological exploration of trabecular system of pelvis. *Rom. J. of Funct. et Clin., Macro- et Microscop // Anat. Anthropol.* 2016. Vol. 15. P. 405–408.
39. Stempel A., Trenkmann S., Krönauer et al. The stability of bone screws in the os sacrum // *Eur. Spine J.* 1998. Vol. 7. P. 313–320.
40. Thomsen J.S., Ebbesen E.N., Mosekilde L.I. Static histomorphometry of human iliac crest and vertebral trabecular bone: a comparative study // *Bone.* 2002. Vol. 30. P. 267–274.
41. Torres M.M. Quantifying trabecular orientation in the pelvic cancellous bone of modern humans, chimpanzees and the kebara 2 neanderthal // *Am. J. Hum. Biol.* 2003. Vol. 15. P. 647–661.
42. Whelan M.A., Gold R.P. Computed tomography of the sacrum // *Normal anatomy. AJR.* 1982. Vol. 139. P. 1183–1190.
43. Williams F.L., Ozban R. Ontogeny and phylogeny of the pelvis in Gorilla, Pongo, Pan Australopithecus and Homo // *Folia Primatol.* 2007. Vol. 78. P. 99–117.

Поступила в редакцию 16.07.2019
Получена после доработки 22.11.2019

HUMAN PELVIS BUTTRESS SYSTEM AND THE ROLE OF SKELETAL MUSCLES IN ITS FORMATION (REVIEW ARTICLE)

I. V. Gaivoronsky^{1,2}, *A. A. Rodionov*²,
G. I. Nichiporuk^{1,2}, *I. A. Goryacheva*^{1,2},
*M. G. Gaivoronskaya*²

In connection with the vertical position of the body, such mechanical forces as body weight, viscera, intra-abdominal pressure, traction of muscles, tendons and ligament apparatus act on the human pelvis. The bone structures — the internal plates of the spongy substance and the end plates of the compact substance, the highest concentration of which occurs at the sites of compression and tension — are modeled under the influence of these forces. The aforementioned places of increased bone density in the composition of the bone pelvis are its buttresses. The connecting foundation of the buttress system of the pelvis is the sacrum, perceiving the effects of mechanical forces and transmitting them to the pelvic bones. The authors distinguished the following bone buttresses: 1 — lumbo-sacral-iliac-femoral; 2 — lumbo-sacral-iliac-sciatic; 3 — sacro-sciatic; 4 — sacro-femoral; 5 — sacro-iliac-pubical. It is necessary to consider buttresses of the pelvis from the position of arched structures, with the obligatory interaction of the contralateral sides. Arched structures formed by the lumbo-sacral-iliac-femoral, sacro-femoral and sacro-iliac-pubic buttresses function when the body is in vertical position, and the lumbo-sacral-iliac-sciatic and sacroiliac buttresses when the body is in seated position. Skeletal muscles attached to the bones of the pelvis also play an important role in the formation and maintenance of bone buttresses. They not only change its bone structure, but during their contraction also transmit tension to other bones, forming muscle buttress systems. In the work, the presence of the following musculoskeletal buttresses is proved: 1 — the external and internal ileo-femoral; 2 — external and internal obturator-femoral; 3 — pubic-sciatic-femoral-tibial; 4 — sciatic-tibial-fibular buttresses. It is shown that the pelvis is the most important part of the human musculoskeletal system and the stabilization ring for the free lower limb.

Key words: *pelvic bone buttress, musculoskeletal buttress, arched pelvic structures, pelvic muscles, femur muscles, pelvic bone and muscle complex*

¹ Department of Normal Anatomy, S. M. Kirov Military Medical Academy, 6 Akad. Lebedev St., St. Petersburg 194044;

² Department of Morphology, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034