

УДК 616. 072.7-611.738.1

ТЯЖЕЛОВ А.А., КАРПИНСКИЙ М.Ю., ГОНЧАРОВА Л.Д., ЛОБАНОВ Г.В., БОРОВОЙ И.С.
ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМН Украины», г. Харьков
Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МЫШЦ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ ТАЗА ПРИ ОДНООПОРНОМ СТОЯНИИ

Резюме. В работе методом математического моделирования рассчитаны силы и моменты сил мышц поясницы, таза и нижней конечности, обеспечивающие горизонтальное равновесие таза. В отличие от ранее выполненных работ, кроме мышц «чистых» (облигатных) абдукторов, в расчетной схеме учтено действие всех других мышц, вектор действия которых расположен латеральнее центра вращения таза при одноопорном стоянии. К факультативным абдукторам мы отнесли грушевидную, подвздошно-поясничную, портняжную мышцы, прямую порцию четырехглавой мышцы и переднюю порцию большой ягодичной мышцы.

В основу расчетов положена концепция сохранения горизонтального равновесия таза за счет работы исполнительного механизма в виде мышечного аппарата, посредством тяговых усилий, развиваемых отдельными мышцами. Регулирование действий исполнительного механизма осуществляется центральной нервной системой, которая генерирует управляющие сигналы, представляющие собой функции регулирования, изменяющиеся во времени. Различные рецепторы осуществляют как внешний (информация об окружающей среде и положении тела в ней), так и внутренний контроль (состояние самой системы и ее элементов). На основании данных системы контроля вырабатываются коэффициенты регулирования, влияющие на величины функций регулирования.

Другими словами, при изменении одной переменной функции регулирования сохранение равновесия происходит за счет изменения других переменных.

В результате расчетов выяснилось, что облигатные абдукторы (малая и средняя ягодичные мышцы и мышца, натягивающая широкую фасцию) обеспечивают момент силы, равный $80 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что чуть более чем в 2 раза превышает момент силы гравитации ($34,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$) при спокойном одноопорном стоянии. Суммарное пропорциональное сокращение факультативных абдукторов позволяет обеспечить момент силы в $66,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что ненамного меньше момента, создаваемого облигатными абдукторами. Суммарный момент силы всех абдукторов составит $146,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что более чем в 4 раза превышает момент силы гравитации. А это уже тот запас надежности, который обеспечивает горизонтальное равновесие таза даже при экстремальных динамических нагрузках.

Введение

Если в расчетах силовых взаимодействий в области тазобедренного сустава как при двуопорном, так и одноопорном стоянии белых пятен практически не осталось благодаря работам F. Pauwels, V.T. Inman и др. [1, 2], то вопрос обеспечения горизонтального равновесия таза при одноопорном стоянии далек от своего решения. В частности, известно, что при одноопорном стоянии обеспечение горизонтального равновесия таза достигается отводящей группой мышц, которые должны обеспечить усилие, более чем в два раза превышающее вес тела [3].

Однако на практике реальная сила отводящих мышц бедра не достигает и половины веса тела. В лаборатории биомеханики ГУ «ИППС им. проф. М.И. Ситенко НАМНУ» авторами было изучено 20 протоколов биомеханического обследования здоровых лиц-волонтеров и спортсменов, не предъявлявших жалоб, которые подтвер-

дили это наше утверждение. Следовательно, для обеспечения горизонтального равновесия таза при одноопорном стоянии необходимо подключение других мышц.

Наиболее эффективно с этой проблемой должны справляться мышцы, вектор действия которых расположен латеральнее центра вращения опорного тазобедренного сустава. Их работа возможна только при жестком блокировании поясничного отдела позвоночника и пояснично-тазового перехода тазово-реберными и тазово-поясничными мышцами.

Особенности мышечных взаимодействий и уточнение формулирования условий сохранения горизон-

© Тяжелов А.А., Карпинский М.Ю., Гончарова Л.Д.,
Лобанов Г.В., Боровой И.С., 2014

© «Травма», 2014

© Заславский А.Ю., 2014

тального равновесия таза требуют дополнительных исследований.

Целью данной работы является изучение работы мышц тазового пояса при обеспечении горизонтального равновесия таза.

Материалы и методы

В работе использован метод математического моделирования условий сохранения равновесия при изменении переменных параметров системы.

В основу расчетов положена концепция сохранения горизонтального равновесия таза за счет работы исполнительного механизма в виде мышечного аппарата, посредством тяговых усилий, развиваемых отдельными мышцами. Регулирование действий исполнительного механизма осуществляется центральной нервной системой, которая генерирует управляющие сигналы, представляющие собой функции регулирования, изменяющиеся во времени. Различные рецепторы осуществляют как внешний (информация об окружающей среде и положении тела в ней), так и внутренний контроль (состояние самой системы и ее элементов). На основании данных системы контроля вырабатываются коэффициенты, влияющие на величины функций регулирования.

Для выяснения вопроса, каким образом поддерживается горизонтальное равновесие таза при одноопорном стоянии, мы составили схему соответствующих мышечных усилий (рис. 1), где выделены все мышцы тазового пояса, вектор действия которых расположен латеральнее центра вращения таза (центра тазобедренного сустава). Мы сознательно внесли в расчетную схему не только облигатные мышцы-абдукторы — малую и среднюю ягодичные мышцы и мышцу, натягивающую широкую фасцию, но и все факультативные абдукторы, каким бы малым ни был их вклад в функцию отведения. К этим факультативным абдукторам мы отнесли грушевидную, подвздошно-поясничную, портняжную мышцы, прямую порцию четырехглавой и переднюю порцию большой ягодичной мышцы, вектор действия которых находится латеральнее центра вращения таза, а следовательно, эти мышцы действуют как абдукторы. Для удобства расчета силы действия мышц мы построили соответствующую расчетную схему, приведенную на рис. 1б, где учтены величины плеча каждой силы и углы действия соответствующих сил.

Результаты исследования

Согласно законам механики, система находится в равновесии, когда сумма всех сил, действующих на систему, равна 0 и сумма всех моментов сил, действующих на систему, тоже равна 0:

$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum M = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Составим уравнения равновесия для нашей системы. Условие равновесия сил:

$$P - F_1 \cos\alpha - F_2 \cos\beta - F_3 \cos\gamma - F_4 \cos\phi - F_5 \cos\phi - F_6 \cos\theta = 0 \quad (2)$$

или

$$P = F_1 \cos\alpha + F_2 \cos\beta + F_3 \cos\gamma + F_4 \cos\phi + F_5 \cos\phi + F_6 \cos\theta. \quad (3)$$

Условие равновесия моментов:

$$M(P) - M(F_1) - M(F_2) - M(F_3) - M(F_4) - M(F_5) - M(F_6) = 0, \quad (4)$$

или

$$aP - dF_1 \cos\alpha - cF_2 \cos\beta - dF_3 \cos\gamma - bF_4 \cos\phi - dF_5 \cos\phi - cF_6 \cos\theta = 0, \quad (5)$$

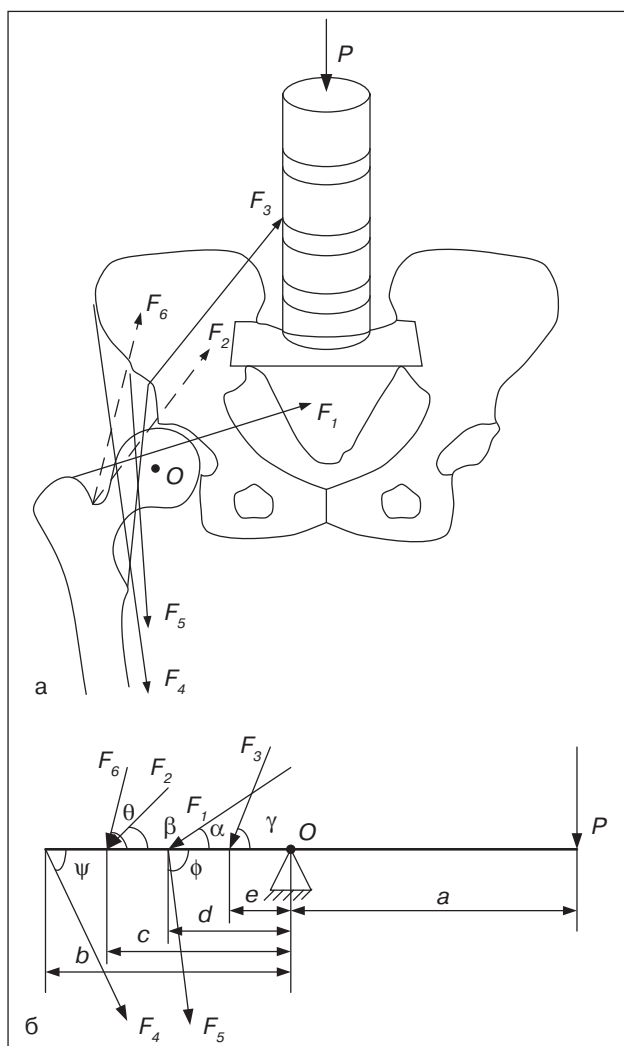


Рисунок 1. Модель мышечных усилий, обеспечивающих горизонтальное равновесие таза при одноопорном стоянии (а). Расчетная схема модели горизонтального равновесия таза (б). Векторами обозначены силы действия следующих мышц: F_1 — грушевидная; F_2 — группа мышц: малая и средняя ягодичные, мышца, натягивающая широкую фасцию; F_3 — подвздошно-поясничная; F_4 — портняжная; F_5 — прямая порция четырехглавой; F_6 — большая ягодичная; P — вес тела

или

$$aP = dF_1 \cos\alpha + cF_2 \cos\beta + dF_3 \cos\gamma + bF_4 \cos\phi + dF_5 \cos\phi + cF_6 \cos\theta. \quad (6)$$

Для определения возможностей регулирования системы при изменении условий сохранения равновесия (регулирование равновесия в критической ситуации), представим функцию (6) в общем виде:

$$f = k_1 f_1 + k_2 f_2 + \dots + k_n f_n, \quad (7)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n — параметры функции f ; f_1, f_2, \dots, f_n — переменные функции f или аргументы.

Значения параметров функции в норме: $k_1^0, k_2^0, \dots, k_n^0$.

Измененные значения параметров функций представим в виде: $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \dots, \bar{k}_n$, где

$$\begin{aligned} \bar{k}_1 &= k_1^0 + \Delta k_1; \\ \bar{k}_2 &= k_2^0 + \Delta k_2; \\ &\dots \\ \bar{k}_n &= k_n^0 + \Delta k_n. \end{aligned} \quad (8)$$

Нормальное значение функции f^0 будет выглядеть так:

$$f^0 = k_1^0 f_1 + k_2^0 f_2 + \dots + k_n^0 f_n. \quad (9)$$

Измененное значение функции запишем в виде:

$$\bar{f} = \bar{k}_1 f_1 + \bar{k}_2 f_2 + \dots + \bar{k}_n f_n. \quad (10)$$

Подставим измененные значения параметров функции из выражения (8) в выражение (10) и получим следующее выражение:

$$\bar{f} = (k_1^0 + \Delta k_1) f_1 + (k_2^0 + \Delta k_2) f_2 + \dots + (k_n^0 + \Delta k_n) f_n. \quad (11)$$

При этом функция равновесия сохраняется (критическое регулирование), следовательно, нормальное значение функции равновесия и его измененное значение тождественны:

$$\bar{f} = f^0. \quad (12)$$

Подставив выражения нормального и измененного значений функции из выражений (9) и (11) в выражение (12) и выполнив соответствующие преобразования, получим окончательное условие тождественности нормально-го и измененного значений функции равновесия:

$$\Delta k_1 f_1 + \Delta k_2 f_2 + \dots + \Delta k_n f_n = 0. \quad (13)$$

В общем виде данное уравнение можно записать следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \Delta k_i f_i = 0. \quad (14)$$

Таким образом, мы приходим к пониманию того, что уравнение (14) имеет бесконечное количество решений,

так как недостаток функции одного или нескольких элементов системы может быть компенсирован изменением (коррекцией) функции других элементов. Иными словами, организм обладает огромным запасом компенсаторных возможностей, позволяющих обеспечить нормальную функцию опорно-двигательной системы, в частности горизонтальное равновесие таза.

Выясним, какое значение имеют изложенные нами принципы в процессе обеспечения равновесия. С этой целью вернемся к уравнению (14) равновесия таза в общем виде:

$$\sum_{i=1}^n \Delta k_i f_i = 0, \quad (15)$$

а также к исходному уравнению (6) равновесия таза:

$$aP = dF_1 \cos\alpha + cF_2 \cos\beta + dF_3 \cos\gamma + bF_4 \cos\phi + dF_5 \cos\phi + cF_6 \cos\theta. \quad (16)$$

Если сравнить эти два уравнения, можно определить, что в качестве переменных выступают величины сил:

$$\begin{aligned} f_1 &= F_1; \\ f_2 &= F_2; \\ f_3 &= F_3; \\ f_4 &= F_4; \\ f_5 &= F_5; \\ f_6 &= F_6. \end{aligned} \quad (17)$$

А роль параметров играют величины плеч рычагов и углы действия этих сил, т.е. геометрические размеры костных фрагментов тазобедренного сустава:

$$\begin{aligned} k_1 &= d \cos\alpha; \\ k_2 &= d \cos\beta; \\ k_3 &= d \cos\gamma; \\ k_4 &= b \cos\phi; \\ k_5 &= d \cos\phi; \\ k_6 &= c \cos\theta. \end{aligned} \quad (18)$$

Можно легко представить, что диапазон регулирования величины мышечной силы значительно превышает диапазон изменения угла ее действия и тем более диапазон изменения плеча ее приложения:

$$\Delta F \gg \Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma, \Delta\phi, \Delta\theta > \Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta d. \quad (19)$$

Если учесть тот факт, что рассматриваемые в уравнении (16) и (17) функции являются производными по времени, то:

$$\begin{aligned} f_1 &= dF_1/dt; \\ f_2 &= dF_2/dt; \\ f_3 &= dF_3/dt; \\ f_4 &= dF_4/dt; \\ f_5 &= dF_5/dt; \\ f_6 &= dF_6/dt. \end{aligned} \quad (20)$$

Проведенные нами расчеты позволили сделать вывод, что главную роль в обеспечении равновесия таза при одно-

опорном стоянні іграють іменно м'язи. Чем шире діапазон їх силових впливів, тем шире діапазон регулювання системи в межах збереження горизонтального рівноваж'язу. Величини плеч прикладання м'язових зусиль іграють второстепенну роль, так як діапазон їх змін за рахунок переміщення тазу дуже обмежений.

Розглянемо далі варіанти рішення рівняння рівноваж'язу тазу.

Для цього воспользуємося даними Х.А. Янсона [3] о величинах тягових зусиль м'язів, що беруть участь в стабілізації тазу, а також о величинах плеч прикладання цих зусиль і кутів дії м'язів, виходячи з розрахункової схеми. Цифрові дані представлені в табл. 1.

Для визначення величини ваги тіла людини, діючої на таз, воспользуємося даними И.Ф. Образцова [4] о вагових співвідношеннях різних сегментів тіла людини. Згідно з цими даними вага верхньої половини тулуба і опорної кінцівки становить 0,7062 ваги тіла.

Якщо прийняти вагу тіла рівною 70 кг, то вага, діюча на опорну кінцівку при одноопорному стоянні, буде становити вагу верхньої частини тіла плюс вага нижньої кінцівки:

$$P_B = 70 \cdot 0,7062 = 49,43 \text{ кг}, \quad (21)$$

або величина сили, діючої на таз, буде становити:

$$P = 494,3 \text{ Н}. \quad (22)$$

Визначимо величину плеча дії сили тяжкості $a = 0,07 \text{ м}$.

Визначимо величинами кутів дії м'язових сил, представлених в табл. 1.

Підставимо відповідні числові значення величин плеч і кутів дії м'язових сил в рівняння (16):

$$0,07P = 0,02F_1 \cos 70^\circ + 0,03F_2 \cos 30^\circ + 0,01F_3 \cos 20^\circ + 0,04F_4 \cos 20^\circ + 0,02F_5 \cos 5^\circ + 0,03F_6 \cos 10^\circ$$

або

$$0,07P = 0,007F_1 + 0,026F_2 + 0,009F_3 + 0,038F_4 + 0,02F_5 + 0,03F_6. \quad (23)$$

Розглянемо варіант рішення рівняння, при якому передположимо, що кожна м'яз або група м'язів в будь-який момент часу впливають на систему силою, пропорційною величині максимально можливої сили, розвиваємої відповідною м'язом або групою м'язів. Для цього на основі даних табл. 1 виведемо коефіцієнт пропорційності для кожної м'язи відносно величини сили тяжкості:

$$\begin{aligned} F &= P; \\ F_1 &= 0,34P = 0,34F; \\ F_2 &= 5,41P = 5,41F; \\ F_3 &= 2,51P = 2,51F; \\ F_4 &= 0,25P = 0,25F; \\ F_5 &= 2,23P = 2,23F; \\ F_6 &= 1,62P = 1,62F. \end{aligned} \quad (24)$$

Підставимо ці значення в рівняння (23):

$$0,07P = 0,00238F + 0,14066F + 0,02259F + 0,0095F + 0,0446F + 0,0486F. \quad (25)$$

Отже, отримаємо значення сили F:

$$F = 0,26P = 128,5 \text{ Н}. \quad (26)$$

Підставив значення сили F в рівність (20), отримаємо значення величин сил, які необхідно розвинути відповідним м'язам для виконання умов рівноваж'язу тазу при одноопорному стоянні. Результати розрахунку наведені в табл. 2.

З розрахунків випливає, що в даному випадку всі м'язи, розвиваючи пропорційне своїй площі сечення напруження, без зусиль забезпечують умову горизонтального рівноваж'язу тазу, т.е. потрібне для рівноваж'язу тазу зусиль менше максимального зусиль, розвиваємого

Таблиця 1. Величини тягових зусиль м'язів, що беруть участь в стабілізації тазу, і величини плеч прикладання цих зусиль

Сила	М'яз	Ср. сечення, см ²	Макс. сила, Н	Плецо сили, м	Угол	Величина угла, градуси
F1	Грушевидна	2,1	168	0,02	α	70
F2	Середня ягодична	21,4	1712	0,03	β	30
	Мала ягодична	9,5	760			
	Натягивающая широку фасцію	2,5	200			
F3	Подвздошно-пояснична	15,4	1240	0,01	γ	20
F4	Портняжна	1,55	124	0,04	φ	20
F5	Прямая порция четырехглавой**	55,9 (13,8)	1104	0,02	ϕ	5
F6	Большая ягодичная*	30,1 (10,0)	800	0,03	θ	10

Примечания: удельная сила м'язів на 1 см² сечення умовно рівна 80 Н/см²; в розрахунку використано: * — 1/3 часть; ** — 1/4 часть сечення.

Таблиця 2. Величини сил (Н), необхідні для підтримання рівноваги таза в нормі при одноопорному стоянні

Сила при $P = 494,3 \text{ Н}$	Требоване зусилля	Максимальне зусилля, розвивається м'язами
F_1	43,49	168
F_2	691,69	2672
F_3	320,99	1240
F_4	32,10	124
F_5	285,79	1104
F_6	207,09	800

каждой м'язом. При цьому вимагане для збереження горизонтального рівноваги таза зусилля в 3–4 рази менше величини максимально можливих зусиль, розвиваних відповідними м'язами. Це говорить про те, що всі м'язи мають достатньо великий резерв по величині розвиваних зусиль при забезпеченні рівноваги таза, що може бути використано організмом для нормальної та критичної регуляції.

Обсуждение полученных результатов

Как видно из расчетов, облигатные абдукторы (малая и средняя ягодичные м'язи и м'яз, натягивающий широкую фасцию) обеспечивают момент силы, равный $80 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что чуть более чем в 2 раза превышает момент силы гравитации при спокойном одноопорном стоянии ($34,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$). Достаточно ли этого при динамическом нагружении, когда нагрузка на опорную конечность возрастает в 3–4 раза, а по некоторым данным и более? По-видимому, нет. А включение дополнительных факультативных абдукторов, к которым мы отнесли грушевидную, подвздошно-поясничную, портняжную м'язи, прямую порцию четырехглавой и переднюю порцию большой ягодичной м'язи, вектор действия которых

расположен латеральнее центра вращения таза, помогает решить и эту проблему. Суммарное пропорциональное сокращение факультативных абдукторов позволяет обеспечить момент силы в $66,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что ненамного меньше момента облигатных абдукторов. Суммарный момент силы всех абдукторов составит $146,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что более чем в 4 раза превышает момент силы гравитации. А исходя из того положения, что синергизм в работе м'язов усиливает суммарную силу, можно с уверенностью говорить, что суммарное действие всех абдукторов обеспечит надежное сохранение горизонтального равновесия таза даже в условиях динамического нагружения.

Приведенный нами вариант можно рассматривать как условие регулирования равновесия таза в нормі.

Заклучение

Таким образом, горизонтальное равновесие таза обеспечивается сочетанной работой облигатных и факультативных абдукторов. Факультативные абдукторы развивают момент силы, почти в 2 раза превышающий момент силы гравитации, а совместно с облигатными абдукторами обеспечивают момент силы, превышающий таковой гравитации более чем в 4 раза. Это позволяет рассматривать факультативные абдукторы как важный механизм компенсации (резерв регулирования) при экстремальных динамических нагрузках.

Список литературы

1. Pauwels F. *Derschenkelhalsbruch ein mechanisches Problem.* — Stuttgart, 1935. — 325 s.
2. Inman V.T. *Functional Aspects of the Hip* // JBJS. — 1947, 29-A. — № 3. — P. 607-619.
3. Янсон Х.А. *Биомеханика нижней конечности человека* / Х.А. Янсон. — Рига: Зинатне, 1975. — 324 с.
4. Образцов И.Ф. *Проблемы прочности в биомеханике: Учебное пособие для техн. и биол. спец. вузов* / И.Ф. Образцов, И.С. Адамович, А.С. Барер [и др.]. — М.: Высшая школа, 1988. — 311 с.

Получено 21.03.14 ■

Тяжелов А.А., Карпінський М.Ю., Гончарова Л.Д., Лобанов Г.В., Боровий І.С.
ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків
Донецький національний медичний університет ім. М. Горького

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ М'ЯЗІВ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНУ РІВНОВАГУ ТАЗА ПРИ ОДНООПОРНОМУ СТАЯННІ

Резюме. У роботі методом математичного моделювання розраховані сили й моменти сил м'язів поперека, таза та нижньої кінцівки, що забезпечують горизонтальну рівновагу таза. На відміну від раніше виконаних робіт, крім м'язів «чистих» (облігатних) абдукторів, у розрахунковій схемі враховано дію всіх інших м'язів, вектор дії яких розташований латеральніше центра обертання таза при одноопорному стоянні. До факультативних абдукторів ми віднесли грушеподібний, клубово-поперековий, кравецький м'язи, пряму порцію чотириголового й передню порцію великого сідничного м'яза.

В основу розрахунків покладено концепцію збереження горизонтальної рівноваги таза за рахунок роботи виконавчого механізму у вигляді м'язового апарату, за допомогою тягових

зусиль, що розвиваються окремими м'язами. Регулювання дій виконавчого механізму здійснюється центральною нервовою системою, що генерує керуючі сигнали, які являють собою функції регулювання, що змінюються в часі. Різні рецептори здійснюють як зовнішній (інформація про оточуюче середовище та положення тіла в ньому), так і внутрішній контроль (стан самої системи та її елементів). На підставі даних системи контролю виробляються коефіцієнти регулювання, що впливають на величини функцій регулювання.

Іншими словами, при зміні однієї змінної функції регулювання збереження рівноваги відбувається за рахунок зміни інших змінних.

У результаті розрахунків з'ясувалося, що облігатні абдуктори (малий і середній сідничні м'язи та м'яз, що натягає широку фасцію) забезпечують момент сили, рівний $80 \text{ Н} \cdot \text{м}$, що трохи більше ніж у 2 рази перевищує момент сили гравітації ($34,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$) при спокійному одноопорному стоянні. Сумарне пропорційне скорочення факультативних абдукторів дозволяє

забезпечити момент сили в $66,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, що ненабагато менше моменту, створюваного облігатними абдукторами. Сумарний момент сили всіх абдукторів становитиме $146,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, що більше ніж у 4 рази перевищує момент сили гравітації. А це вже той запас надійності, що забезпечує горизонтальну рівновагу таза навіть при екстремальних динамічних навантаженнях.

Tyazhelov A.A., Karpinsky M.Yu., Goncharova L.D., Lobanov G.V., Borovoy I.S.

State Institution «Institute of Spine and Joint Pathology named after professor M.I. Sitenko of National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv

Donetsk National Medical University named after M. Gorky, Donetsk, Ukraine

MODELING MUSCLES WORK THAT PROVIDE THE HORIZONTAL BALANCE OF THE PELVIS AT SINGLE-LEG STANDING

Summary. In this paper using mathematical modeling we had calculated forces and moments of force of lumborum, pelvis and lower extremity, providing of horizontal balance of the pelvis. In contrast to works performed earlier except muscles of «pure» (obligate) abductors, in the calculation scheme we considered the action of all other muscles, vector of which is more lateral then the centre of pelvis rotation at singly-leg standing. To the optional abductor we referred piriform, iliopsoas, tailor's muscles, straight portion of the quadriceps and anterior portion of the gluteus maximus.

The calculations were based on the concept of keeping the horizontal balance of the pelvis due to operation of the actuator in the form of muscular system by traction forces developed by individual muscles. Actuator action is regulated by the central nervous system, which generates control signals representing a control function of regulation changing with time. Various receptors perform both external (information about the environment and

position of the body in it) and internal control (state of the system and its elements). Based on the data of control system, there are being produced coefficients of regulation affecting the magnitude of regulatory functions.

In other words, in changing one variable of control function, maintaining balance occurs due to changes in other variables.

The calculations revealed that obligate abductors (small and middle gluteal muscle and musculus tensor fasciae latae) provide a force moment of $80 \text{ Н} \cdot \text{м}$, which a little more than 2 times exceed force moment of gravity ($34.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$) at quiet single-leg standing. Total proportional traction of optional abductors allows providing force moment of $66.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, which is not much less the moment created by obligate abductors. The total moment of the force of all the abductor is $146.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, which is more than four times higher than the force moment of gravity. And it is that the safety margin that allows horizontal pelvic balance even under extreme dynamic loads.