

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УСИЛИЙ НА ПОЯСНИЧНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ВЫТЯЖЕНИИ НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

И. А. Лазарев, В. В. Мелешко

Институт травматологии и ортопедии Академии медицинских наук Украины, Киев

Тракционная терапия является одним из наиболее древнейших методов кинезотерапии заболеваний позвоночника. Упоминания об этом можно найти еще в работах Гиппократов [4]. С развитием медицинских знаний и технологий совершенствовались методы и устройства для осуществления тракционных воздействий на позвоночник [17, 6, 8, 7]. Противоречие в подходе к дозированию тракционной нагрузки прикладываемой к поясничному отделу по анализу литературы заключается в том, что одни авторы рекомендуют вытяжение грузами, составляющими 30–60% веса тела [13, 1, 2]. По данным других авторов [3], для разъединения позвонков больших усилий не требуется. Исследования Beurskens A.J (1995) не выявили различий в эффекте тракционного лечения при сравнении использования больших и малых грузов, а эффективность метода не зависит от величины груза. Проблема отсутствия единого методологического подхода к подбору тракционного усилия связана с тем, что при расчете усилия не учитывается вся совокупность факторов, влияющих на правильность подбора силовой нагрузки, зависящей от состояния мышечной массы больного, общей массы тела, роста, возраста, тяжести течения заболевания, жесткости фиксации дистрагируемого отдела, а также от более или менее выраженных неудобств для пациента при выполнении процедуры. Правильно оценить все эти факторы субъективно не всегда представляется возможным, а применение других методов оценки затруднено или исключено из-за отсутствия технических решений тракционных устройств, позволяющих выполнять процедуру и проводить необходимые измерения. Исследования по этому вопросу продолжаются.

Предложено множество устройств для осуществления тракции позвоночника, отличающиеся степенью сложности конструкции, способом фиксации, методологией осуществления процесса вытяжения [17, 5, 6, 7, 8]. В.П.Веселовским и соавт. [14] предложен способ лечения с исполь-

зованием тракционного метода в сочетании с упражнениями на постизометрическое расслабление. Способ позволяет достичь эффекта с грузом в 2–3 раза меньшим, чем при обычных методиках, однако, как и в других работах, расчет величины нагрузки не производился.

Наряду с перечисленным, особого внимания заслуживает гравитационное вытяжение поясничного отдела позвоночника на наклонной плоскости под действием собственного веса тела. Этот способ используется давно, отличается простотой и доступностью, не требует дополнительных затрат. Разработана методология проведения процедуры [10]. Однако рекомендуемые методы и режимы тракции не были научно обоснованы, не произведен биомеханический расчет нагрузок на двигательные сегменты позвоночника в зависимости от угла наклона плоскости и силы трения, что позволило [9] сделать заключение о наименьшей эффективности данного способа вытяжения. К изобретению последних лет, относится «Профилактор Евминова» [16], представляющий собой плоскость, устанавливаемую под необходимым углом наклона по отношению к горизонтальной. В предлагаемом автором комплексе упражнений угол наклона определялся произвольно, в некоторых случаях не достигая необходимого усилия, а иногда превышая предельно допустимое. Такая перегрузка вызывает рефлекторное напряжение мышц в ответ на их перерастяжение. В результате получается эффект, обратный ожидаемому – обострение процесса, ухудшение состояния больного. Для точного дозирования тракционного усилия, направленного на двигательные сегменты поясничного отдела позвоночника в зависимости от угла наклона плоскости, требуются расчеты, проведенные с позиции теоретической механики.

Результат может быть получен способом прямого, косвенного и совокупного измерения. Однако, многие параметры организма человека недоступны для прямого измерения. И иссле-

дование производится на экспериментальных моделях на основе процессов, имеющих взаимно-однозначное соответствие, описываемые одинаковыми математическим уравнениями. Для изучения состояния организма пациента, определения параметров его движений при выполнении физических упражнений, тестирования применяются разнообразные инструментальные методы, в основе которых лежит использование специальных приборов и их комплексы. В приборах используются методы непосредственной оценки, сравнения, непосредственного отсчета, управляемого отсчета.

Расчет тракционных усилий

Наклонная плоскость и пребывающий на ней субъект рассматривается как система, на которую действуют внешние силы. С механической точки зрения тело человека представляет собой сложную структуру, составленную из отдельных

сегментов. В данном случае в расчет берется нижний сегмент тела, включающий стопы, голени, бедра и таз.

Плоскость устанавливается под некоторым углом α по отношению к горизонтальной плоскости. Субъект находится в свободном лежачем на спине положении на наклонной плоскости. Фиксация осуществляется руками за рукоятку в точке Т. Условно делим тело субъекта на два сегмента – верхний и нижний (рис. 1). Таким образом, нижний сегмент тела (С) под действием собственного веса пытается отделиться от фиксированного верхнего сегмента. При этом на поясничный отдел позвоночника (В) действует сила дистракции.

Расчетным путем устанавливается величина силы, действующей на структуры поясничного отдела позвоночника под действием веса нижнего сегмента тела при разном угле α наклона плоскости (рис.2).

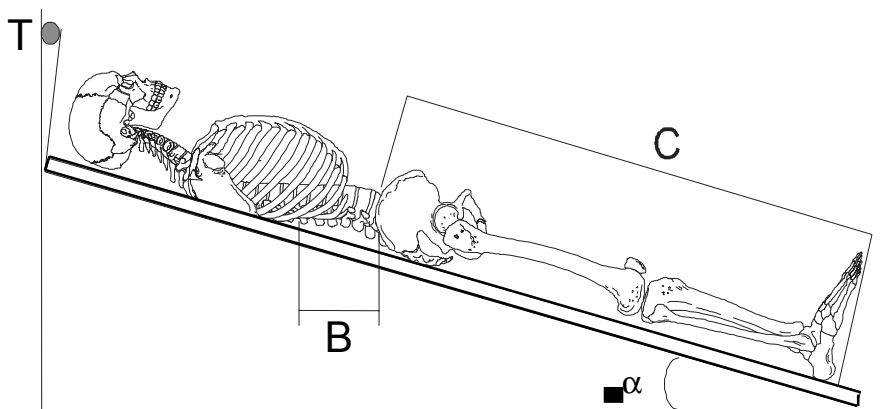


Рисунок 1. Расположение субъекта на наклонной плоскости. Сегментарное строение:

В – поясничный отдел позвоночника; С – нижний сегмент тела;
Т – точка фиксации субъекта на наклонной плоскости; α – угол наклона плоскости

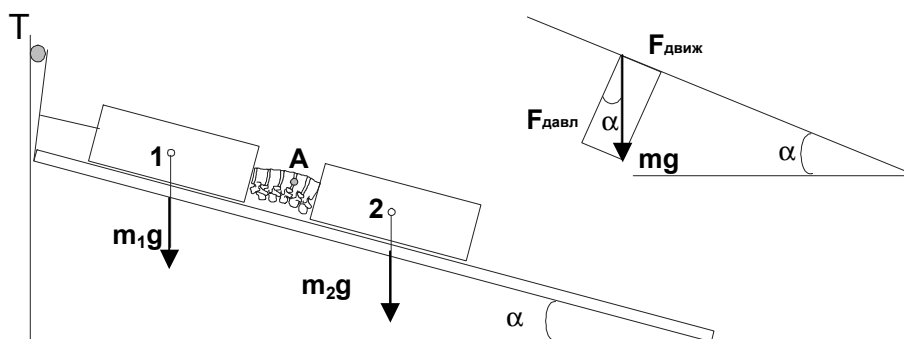


Рисунок 2. Схематическое изображение субъекта на наклонной плоскости с векторами действующих сил

1 – верхний сегмент тела; 2 – нижний сегмент тела;
 m_1g – вес верхнего сегмента тела; m_2g – вес нижнего сегмента тела;
А – поясничный отдел позвоночника; $F_{\text{дав}}$ – сила давления;
 $F_{\text{тр}}$ – сила движения.

Для начала расчетов определяется угол трения (α_{mp}). Для этого субъект располагается на плоскости, установленной в горизонтальном положении на спине без фиксации руками. Угол наклона плоскости увеличивается, начиная от 0° до момента, до тех пор, пока субъект не начнет движение по ее поверхности. Фиксируется значение угла α в градусах. Движение начинается в момент, когда сила движения $F_{дв}$ становится больше силы трения $F_{тр}$. Соответственно

$$F_{тр} = mg \sin(\alpha_{mp}) \quad (1.1)$$

где m – масса тела, g – ускорение силы тяжести.

Коэффициент трения k рассчитывается по формуле

$$kmg \cos(\alpha_{mp}) = mg \sin(\alpha_{mp}),$$

откуда

$$k = \tan(\alpha_{mp}) \quad (1.2)$$

Для угла наклона плоскости α_{mp} , при котором $F_{дв} = F_{тр}$ дистракционная сила в точке А равна нулю.

С началом движения по поверхности на поясничный отдел позвоночника начинает действовать дистракционная сила F_a , которая возрастает с увеличением угла наклона α .

Это происходит следующим образом: на нижний сегмент тела 1 расположенный под углом α , действует сила тяжести mg , которая, в свою очередь, в прямоугольнике сил раскладывается на составляющие – силу давления $F_{дав}$ и $F_{тр}$, направленные соответственно перпендикулярно наклонной плоскости и вдоль нее. Отсюда

$$F_{дав} = mg \cos(\alpha), \quad (1.5)$$

$$F_{дв} = mg \sin(\alpha). \quad (1.6)$$

Соответственно

$$F_{тр} = F_{дав} k \quad (1.7)$$

$$F_{тр} = kmg \cos(\alpha) \quad (1.8)$$

Из этих соотношений выводится формула для определения силы в точке А:

$$F_a = F_{дв} - F_{тр} = mg(\sin\alpha - k\cos\alpha) \quad (1.9)$$

Таким образом, ставится задача:

- найти угол трения – α_{mp} ;
- найти величину силы трения – $F_{тр}$;
- найти силу дистракции в точке А – F_a .

Исходя из общего веса тела больного, можно установить вес его нижнего сегмента. Процентное соотношение весов отдельных звеньев тела взяты из работ Беленького В.Е. (1973) и Бернштейна Н.А. (1935). Согласно данных работ вес нижнего сегмента тела, который включает нижние конечности и таз, составляет 40%. С использованием этих параметров проводятся расчеты.

Для более точного расчета массы нижнего сегмента тела используется уравнение множественной регрессии [15], оценивающее массу отдельных элементов нижнего сегмента тела, с учетом веса и роста больного:

$$Y = B_0 + B_1 \times X_1 + B_2 \times X_2,$$

где Y – прогнозируемая масса сегмента, кг; B_0 , B_1 , B_2 – коэффициенты массы отдельных элементов нижнего сегмента тела, как функции от массы тела и роста; X_1 – общая масса тела, кг; X_2 – рост, см;

В таблицах 1, 2 показан пример расчета массы нижнего сегмента тела больного с общей массой 90 кг. при росте 186 см.

Масса нижнего сегмента тела, полученная расчетным путем, составляет 52% (46,8 кг) от общего веса тела. Подставляя полученную массу сегмента в формулы, рассчитывается дистракционное усилие, оказываемое этой массой на поясничный отдел позвоночника при разном угле наклона плоскости (табл. 1).

Как видно из таблицы 2 при разном угле наклона плоскости на поясничный отдел позвоночника действует разное дистракционное усилие, прямопропорциональное массе тела и росту больного. С увеличением угла наклона плоско-

Таблица 1

Расчетные данные массы нижнего сегмента тела

Сегмент	Коэффициент	B0	B1	B2	X1 кг	X2 см	Y кг	% к весу тела
стопа		-0,8290	0,0077	0,0073	90	186	1,22	1
голень		-1,5920	0,0362	0,0121	90	186	3,92	4
бедро		-2,6490	0,1463	0,0137	90	186	13,07	14
для парных сегментов		-10,1400	0,3804	0,0662	90	186	36,40	40
таз		-7,4980	0,0976	0,0490	90	186	10,40	12
нижний сегмент		-17,6380	0,4780	0,1152	90	186	46,81	52

Таблица 2

Пример расчета усилий на поясничный отдел позвоночника на наклонной плоскости для большого с общей массой тела 90 кг, массой нижнего сегмента тела 46,8 кг, при угле трения 15° для разных углов наклона плоскости

α наклона (град)	α наклона (рад)	m тела (кг)	m нчт (кг)	α трения (град)	α трения (рад)	k трения	FA (Н)	FA (кг)
25	0,43633	90	46,8	15	0,261799	0,268	84,13	8,41
30	0,52360	90	46,8	15	0,261799	0,268	125,40	12,54
35	0,61087	90	46,8	15	0,261799	0,268	165,71	16,57
40	0,69813	90	46,8	15	0,261799	0,268	204,76	20,48
45	0,78540	90	46,8	15	0,261799	0,268	242,25	24,23
50	0,87266	90	46,8	15	0,261799	0,268	277,90	27,79
55	0,95993	90	46,8	15	0,261799	0,268	311,44	31,14
60	1,04720	90	46,8	15	0,261799	0,268	342,60	34,26
65	1,13446	90	46,8	15	0,261799	0,268	371,16	37,12
70	1,22173	90	46,8	15	0,261799	0,268	396,89	39,69
75	1,30900	90	46,8	15	0,261799	0,268	419,60	41,96
80	1,39626	90	46,8	15	0,261799	0,268	439,11	43,91
85	1,48353	90	46,8	15	0,261799	0,268	455,29	45,53
90	1,57080	90	46,8	15	0,261799	0,268	468,00	46,80

F_A – дистракционное усилие на поясничный отдел позвоночника (Н, кг)

Таблица 3

Расчетные данные массы нижнего сегмента тела

Кoeffициент Сегмент	B0	B1	B2	X1 кг	X2 см	Y кг	% к весу тела
стопа	-0,8290	0,0077	0,0073	64	168	0,8902	1,4
голень	-1,5920	0,0362	0,0121	64	168	2,7576	4,3
бедро	-2,6490	0,1463	0,0137	64	168	9,0158	14,1
для парных сегментов	-10,1400	0,3804	0,0662	64	168	25,3272	39,6
таз	-7,4980	0,0976	0,0490	64	168	6,9804	10,9
нижний сегмент	-17,6380	0,4780	0,1152	64	168	32,3076	50,5

F_A – дистракционное усилие на поясничный отдел позвоночника (Н, кг)

Таблица 4

Пример расчета усилий на поясничный отдел позвоночника на наклонной плоскости для большого с общей массой тела 64 кг, массой нижнего сегмента тела 32,3 кг, при угле трения 15°, для разных углов наклона плоскости

α наклона (град)	α наклона (рад)	m тела (кг)	m нчт (кг)	α трения (град)	α трения (рад)	k трения	FA (Н)	FA (кг)
25	0,43633	64	32,3	15	0,261799	0,268	58,07	5,81
30	0,52360	64	32,3	15	0,261799	0,268	86,55	8,65
35	0,61087	64	32,3	15	0,261799	0,268	114,37	11,44
40	0,69813	64	32,3	15	0,261799	0,268	141,32	14,13
45	0,78540	64	32,3	15	0,261799	0,268	167,20	16,72
50	0,87266	64	32,3	15	0,261799	0,268	191,80	19,18
55	0,95993	64	32,3	15	0,261799	0,268	214,94	21,49
60	1,04720	64	32,3	15	0,261799	0,268	236,45	23,65
65	1,13446	64	32,3	15	0,261799	0,268	256,16	25,62
70	1,22173	64	32,3	15	0,261799	0,268	273,92	27,39
75	1,30900	64	32,3	15	0,261799	0,268	289,59	28,96
80	1,39626	64	32,3	15	0,261799	0,268	303,06	30,31
85	1,48353	64	32,3	15	0,261799	0,268	314,23	31,42
90	1,57080	64	32,3	15	0,261799	0,268	323,00	32,30

F_A – дистракционное усилие на поясничный отдел позвоночника (Н, кг)

сти, увеличивается нагрузка, достигая при угле наклона 90° максимального значения, равного весу нижнего сегмента тела.

Для сравнения взят больной с общей массой тела 64 кг. и ростом 168 см. В таблицах 3, 4 показан пример расчета массы нижнего сегмента тела для этого обследуемого.

Используя уравнение регрессии

$$Y = B_0 + B_1 \times X_1 + B_2 \times X_2$$

рассчитываем массу нижнего сегмента тела (табл.3).

Для расчета дистракционного усилия, оказываемого этой массой на поясничный отдел позвоночника в зависимости от угла наклона плоскости полученные результаты заносятся в таблицу (4) для расчетов.

Как видно из таблиц 3 и 4 разный угол наклона плоскости будет вызывать разное дистракционное усилие, прилагаемое на поясничный отдел позвоночника в зависимости от роста, массы тела и коэффициента трения. Сравнив полученные результаты для двух исследуемых, получаем, что для больного с меньшим весом тела

дистракционное усилие на поясничный отдел позвоночника будет соответственно меньшим, при одном и том же угле наклона плоскости и других равных условиях.

Сравнительная характеристика результатов для двух исследуемых представлена на графике (рис.3)

Как видно из графика разница невелика при малых углах наклона до 35° (3–5 кг). С увеличением угла наклона увеличивается разница дистракционных усилий на поясничный отдел позвоночника, которые играют важную роль в правильном дозировании нагрузок у больных с различными неврологическими проявлениями поясничного остеохондроза. Результатом превышения дистракционных нагрузок может явиться рефлекторный спазм мышц формирующих мышечный корсет туловища с повышением внутридискового давления в сегментах позвоночника, вовлеченных в патологический процесс. Мышечный спазм возникает как рефлекторный ответ на растяжение при раздражении проприорецепторов мышц и связок ПДС поясничного отдела позвоночника.

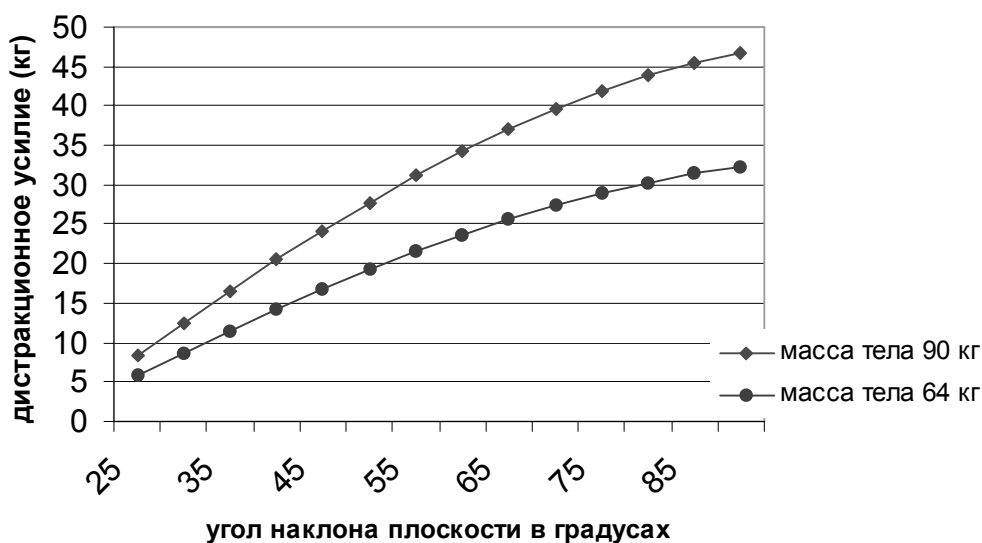


Рисунок 3. Разница дистракционных усилий для двух исследуемых

Литература

1. Beurskens A J. Low Back Pain and Traction. – Thesis Rijksuniversiteit Limburg. – 1996. – 117 p.
2. Effect of 10%, 30% and 60% body weight traction on the straight leg raise test of symptomatic patients with low back pain // Meszaros T.F., Olson R., Kulig K., Creighton D., Czarnecki E. – J. Orthop Sports Phys Ther 2000, 30(10) : 595-601.
3. Lumbar spine traction: evaluation of effects and recommended application for treatment//Krause M., Refshauge K.M., Dessen M., Boland R. - Manual Therapy. – 2000. – N5(2):72-81;
4. Malcolm I.V. Jayson. Back pain The Facts. – Oxford Univ. Press, 1987. – 177 p.

5. А.с. 1739991, МКИ А61F 5/02. Устройство для вытяжения позвоночника/ Макридин Д.К. №4611130/14; Заявлено 30.11.88. Оpubл. 1992. Бюл.№22. – С.23.
6. А.с. 854392 СССР, МКИ А61Н 1/02. Способ вытяжения позвоночника/Савенко А.Г., Сивак П.А., Бондюк В.А., Пшетаковский И.Л. (СССР). – №2838634/28-13; Заявлено 12.11.79; Оpubл. 15.08.81, Бюл.№30
7. А.с. 94039469 Россия, МКИ А61Н 1/02. Способ лечения остеохондроза поясничного отдела позвоночника и устройство для его осуществления/Тараканов А.Э., Тилич Ю.А. (Россия). - №94039469/14; Заявлено 27.09.94, Бюл. №27.
8. А.с. 978852 СССР; МКИ А61Н 1/02, А61F 5/04. Устройство для вытяжения позвоночника/Платонова Г.Б., Коробов Л.Д., Грибанов В.А., Созоновский В.С. (СССР). -

№3309173/28-13; Заявлено 26.06.81; Опубл. 07.12.82, Бюл.45

9. Абдуразаков А.У., Есмембетов И.Н. Лечение поясничного остеохондроза различными видами вытяжения // Здравоохранение Казахстана. – 1991, №11. – С.59-60

10. Аниськов А.А., Щепалин А.М. Лечение больных остеохондрозом пояснично-крестцового отдела позвоночника вытяжением на наклонной плоскости под действием собственной тяжести тела.// Тезисы докладов XIV областной научно-практической врачебной конференции по вопросам курортного лечения. - Куйбышев, 1988. – с.41-44.

11. Беленький В.Е. Влияние веса тела и мышечных сил на формирование физиологических изгибов позвоночника. / Ортоп., травмат., и протезир. – 1973, № 2. – с.45-50.

12. Бернштейн Н.А. Исследование по биомеханике локomoций. – М.-Л., 1935. – Кн.1. –257 с.;

13. Бобровникова Т.И. Лечение дискогенного пояснично-крестцового радикулита прерывистым вытяжением позвоночника и новокаинизацией грушевидной мышцы. /Дисс. канд.мед.наук. - Новокузнецк, 1967.

14. Веселовский В.П., Третьяков В.П., Петрув В.Е. Тракционное лечение больных с компрессионно-корешковыми синдромами поясничного остеохондроза.

15. В.Зациорский, В.Селянов, 1983

16. Пат.17480А, Украина, МКИ А63В 23/00. Гімнастичний тренувальний пристрій / Євмінов В.В., Україна. - №96124622; Заявл.11.12.96; Опубл. 06.05.97.

17. Петухов В.Н. Взаимосвязь различных величин дистракции и жесткости фиксации при лечении поясничного остеохондроза методом горизонтального вытяжения / Вестник травмат. и ортоп. им. Н.Н.Приорова. – №3/2000. – С.50-56.

Контактная информация:

Лазарев Игорь Альбертович

ilazarev@ukr.net тел. +38 044 2163835

Мелешко Владислав Валентинович

mel2@svitononline.com, тел. . +38 044 4401658