



Институт травматологии и ортопедии АМН Украины



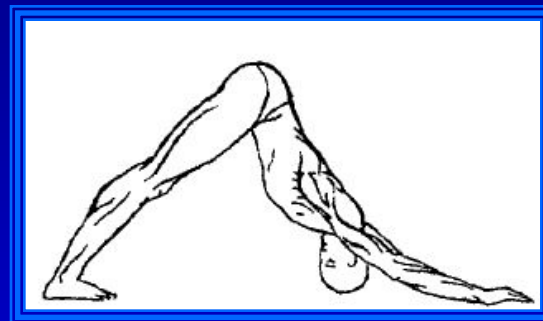
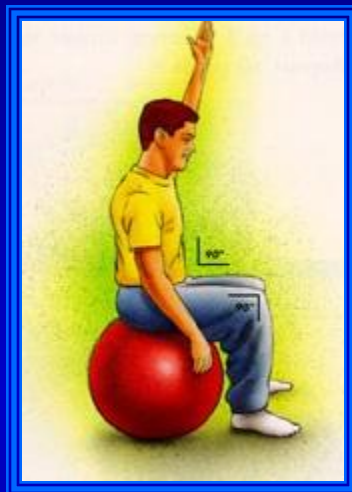
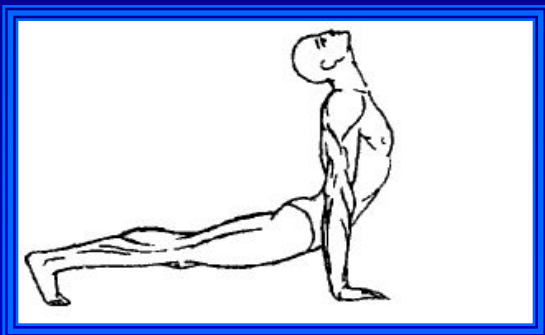
Биомеханическая оценка повреждающего действия упражнений ЛФК при поясничном остеохондрозе

Лазарев И.А., Чкалов А.В., Максимишин А.Н.

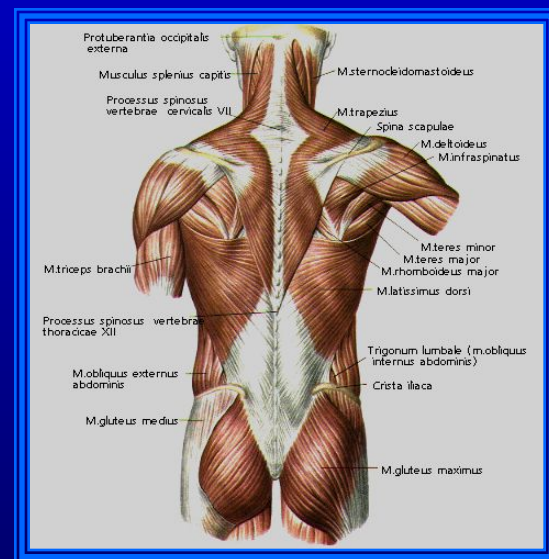
Киев, 2010

optcloud.r

Лечебная физкультура для больных вертебро-неврологического профиля, является наиболее важным и действенным реабилитационным методом патогенетической терапии, устраняя субстрат синдрома.



Упражнения нормализуют работу патологически измененных мышц, укрепляют их, ускоряя процессы восстановления в структурах позвоночных двигательных сегментов как за счет усиления обменных процессов, так и за счет наращивания стабилизационно-фиксационных свойств.



Экстензионные упражнения и упражнения для мышц брюшного пресса способствуют формированию фиксирующего мышечного корсета туловища, тормозя патобиомеханизм развития и прогрессирования проявлений поясничного остеохондроза, восстанавливая нарушенное равновесие сил



Еще до недавних пор считалось обязательным для острого периода вертеброгенного болевого синдрома назначение строгого постельного режима больному в течение 1-2 недель, иммобилизации поясничного отдела

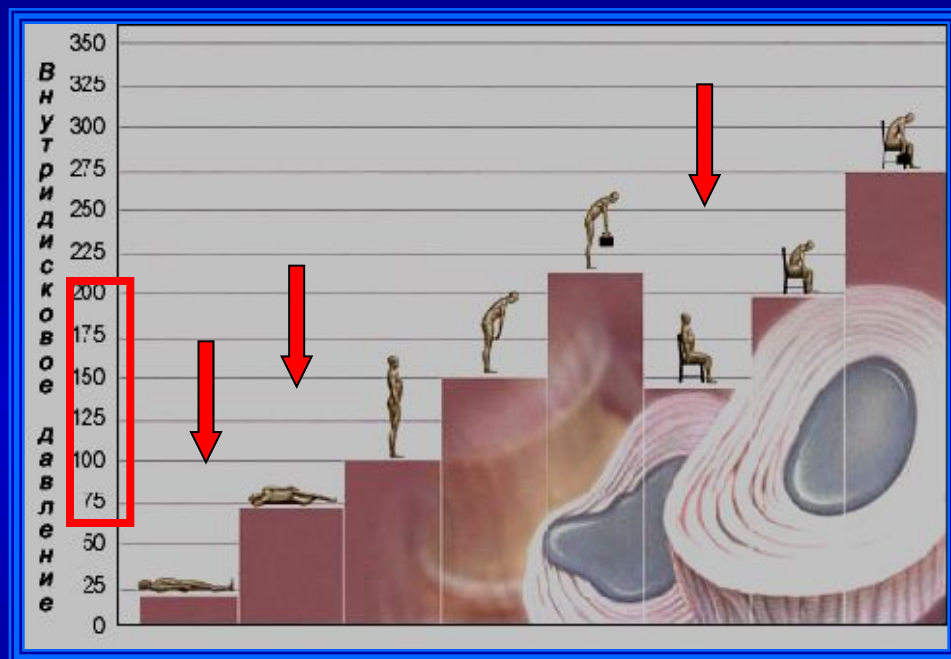
Malcolm I.V. (1987)

Исследования последних лет показывают, что такая тактика приводит к снижению активности и ослаблению мышечных групп участвующих в фиксации и стабилизации позвоночника

Abenhaim L. et al. (2000)

Удлинение сроков гипокинезии увеличивает сроки восстановления нарушенных функций

На сегодняшний день ЛФК входит в рутинный комплекс лечебных программ для больных вертеброневрологического профиля. Несмотря на позитивное отношение к ЛФК не все упражнения способствуют саногенетическим процессам.

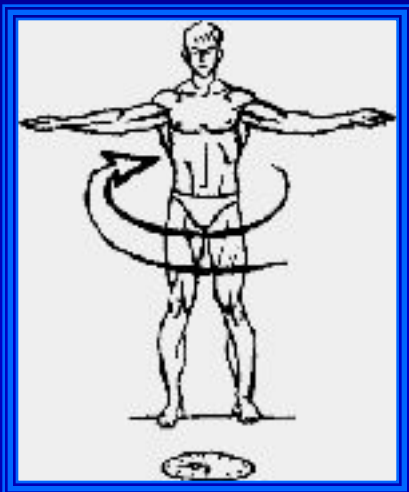


Даже легкие упражнения, выполняемые в положении сидя и лежа, несмотря на кажущуюся разгрузку позвоночника, тем не менее, превышают допустимый уровень компрессирующей нагрузки на структуры двигательных сегментов, усугубляя течение патологического процесса у больных остеохондрозом

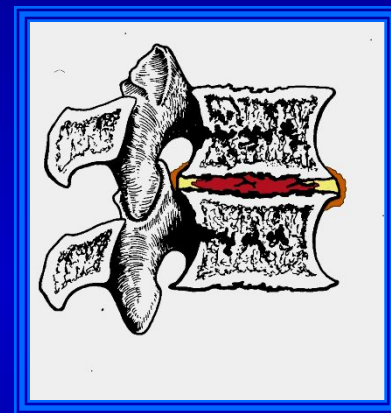
Nachemson A.L. (1971, 2001)

Многими клиницистами лечебная гимнастика продолжает назначаться шаблонно, с использованием стандартных комплексов, без попытки индивидуального их подбора.

Недифференцированная тренировка мышечной системы может привести к нарушению равновесия между мышечными группами, их перенапряжению, рефлекторному сокращению с повышением давления в ПДС, превышению предельно допустимого уровня компрессионных усилий на дегенеративно измененные структуры позвоночника.



К примеру, высокоамплитудные упражнения на фоне ослабления фиксационных свойств мышечного корсета туловища могут провоцировать грыжеобразование, развитие диск-радикулярного конфликта.

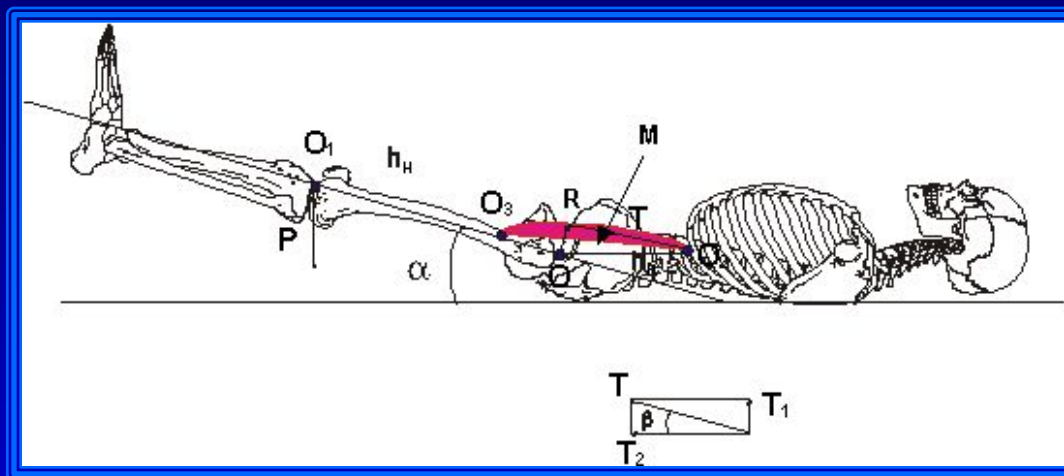


Подбор тех или иных упражнений должен осуществляться избирательно и строго индивидуально с учетом особенностей течения заболевания.

Многими авторами эмпирически выделен ряд динамических упражнений и движений, которые могут вызвать ухудшение или обострение клинических синдромов остеохондроза позвоночника, однако их углубленный биомеханический анализ не проводился.

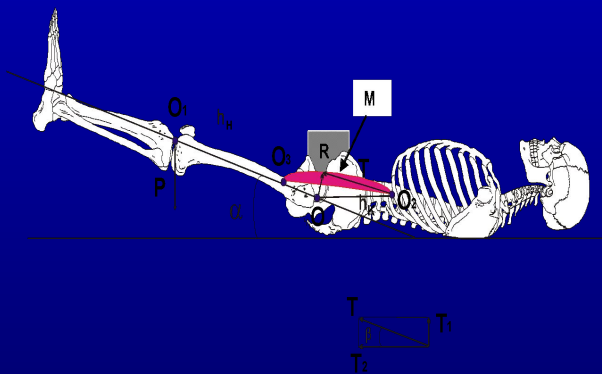
Фищенко В.Я. и соавт. (1989), Шаргородский В.С. (1990)

Экспериментально-расчетный анализ упражнений с подъемом прямой ноги/ног из положения лежа на спине на горизонтальной плоскости



Примем следующие обозначения:

- α – угол подъема конечности,
- M – подвздошно-поясничная мышца (*m. iliopsoas*),
- O – центр вращения тазобедренного сустава,
- O_1 – точка приложения силы тяжести конечности (центр тяжести нижней конечности),
- O_2 – точка прикрепления подвздошно-поясничной мышцы на позвоночнике,
- O_3 – точка прикрепления подвздошно-поясничной мышцы на бедренной кости,



h_n – расстояние от центра O до точки приложения силы тяжести нижней конечности O_1O (м),

h_m – длина подвздошно-поясничной мышцы O_2O_3 (м),

h_k – расстояние от второго поясничного позвонка до центра вращения в тазобедренном суставе O_1O_2 (м),

P – вес нижней конечности (Н),

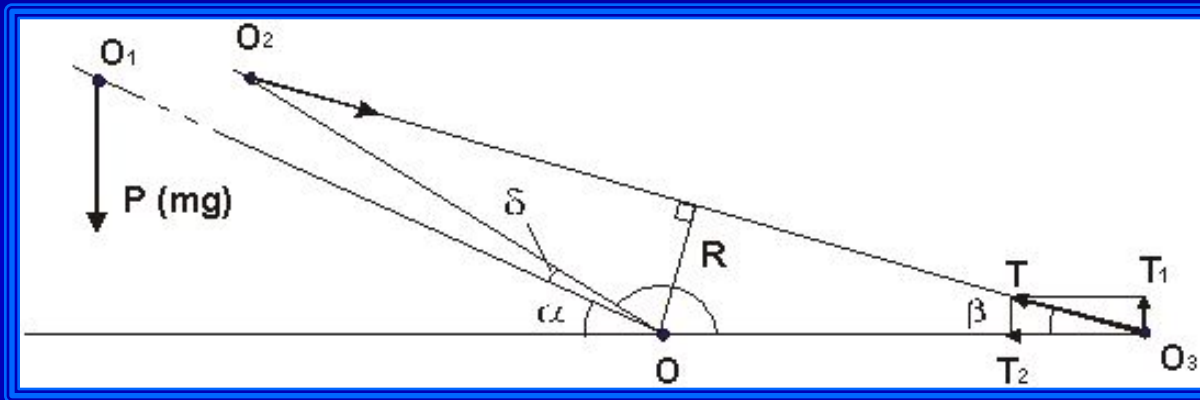
m – масса нижней конечности (кг),

g – ускорение свободного падения (10 мс^2),

R – плечо силы, развиваемой подвздошно-поясничной мышцей относительно оси тазобедренного сустава (м),

T – усилие подвздошно-поясничной мышцы, передаваемое на позвоночник в точке O_2 .

Исследуем позвоночник, как систему, на которую действуют внешние силы. Представим тело человека, лежащего на плоскости как объект, на который действуют силы тяжести, обусловленные весом его сегментов. Подъем прямой ноги из положения лежа на спине осуществляется посредством тяги мышц-сгибателей в тазобедренных суставах, ведущая роль из которых принадлежит подвздошно-поясничной мышце (*m. iliopsoas*).



Сила тяжести mg нижней конечности приложена в центре тяжести O_1 . При сокращении *m. iliopsoas* возникают две равные по величине и противоположные по направлению силы: T' , приложенная к малому вертелу бедра **в точке O_2** , и T , приложенная к поясничному отделу позвоночника **в точке O_3** .

Составим уравнение равновесия моментов сил, приложенных к нижней конечности,

относительно оси O тазобедренного сустава

$$mg l_1 \cos \alpha - R = 0$$

где $l_1 = OO_1$ – расстояние от оси тазобедренного сустава до центра тяжести нижней конечности, R – плечо силы T' относительно оси O .

Теперь находим: $T = mg \frac{l_1}{R} \cos \alpha$

Определим плечо R из треугольника $O O_2 O_3$ по теореме косинусов

$$O_2 O_3 = \sqrt{l_2^2 + l_3^2 - 2l_2 l_3 \cos \psi}$$

$$\psi = \pi - (\alpha + \delta)$$

$$O_2 O_3 = \sqrt{l_2^2 + l_3^2 + 2l_2 l_3 \cos(\alpha + \delta)}$$

$$\frac{O_2 O_3}{\sin \psi} = \frac{OO_2}{\sin \beta} \quad \sin \beta = \frac{l_2}{O_2 O_3} \sin(\alpha + \delta)$$

Теперь находим: $R = l_3 \sin \left(\frac{l_2 l_3}{O_2 O_3} \sin(\alpha + \delta) \right)$

После подстановки получаем:

$$T = mg \frac{l_1 \cdot O_2 O_3 \cos(\alpha + \delta)}{l_2 l_3 \sin(\alpha + \delta)}$$

Компрессирующая составляющая T2 силы T равна $R_2 = T \cos \beta$

Из формулы $\sin \beta = \frac{l_2}{O_2 O_3} \sin(\alpha + \delta)$ найдем

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{\sqrt{l_3^2 + 2l_2 l_3 \cos(\alpha + \delta) \frac{l_2}{O_2 O_3} \cos^2(\alpha + \delta)}}{O_2 O_3}$$

С учетом этого получаем формулу расчета компрессирующей составляющей

$$R_2 = \delta mg \frac{l_1 \cos(\alpha + \delta)}{l_2 l_3 \sin(\alpha + \delta)} \sqrt{l_3^2 + 2l_2 l_3 \cos(\alpha + \delta) \frac{l_2}{O_2 O_3} \cos^2(\alpha + \delta)}$$

Для дальнейшего расчета необходимо определить центр масс нижней конечности. Конечность разделим на сегменты – бедро, голень, стопу. Массу и центр масс каждого сегмента рассчитываем по антропометрическим показателям исследуемого. Для этого используем уравнение множественной регрессии, оценивающее массу сегментов нижних конечностей и локализацию их центров масс, с учетом веса и роста исследуемого:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 \quad (\text{Защиорский В.М. и соавт.1981}),$$

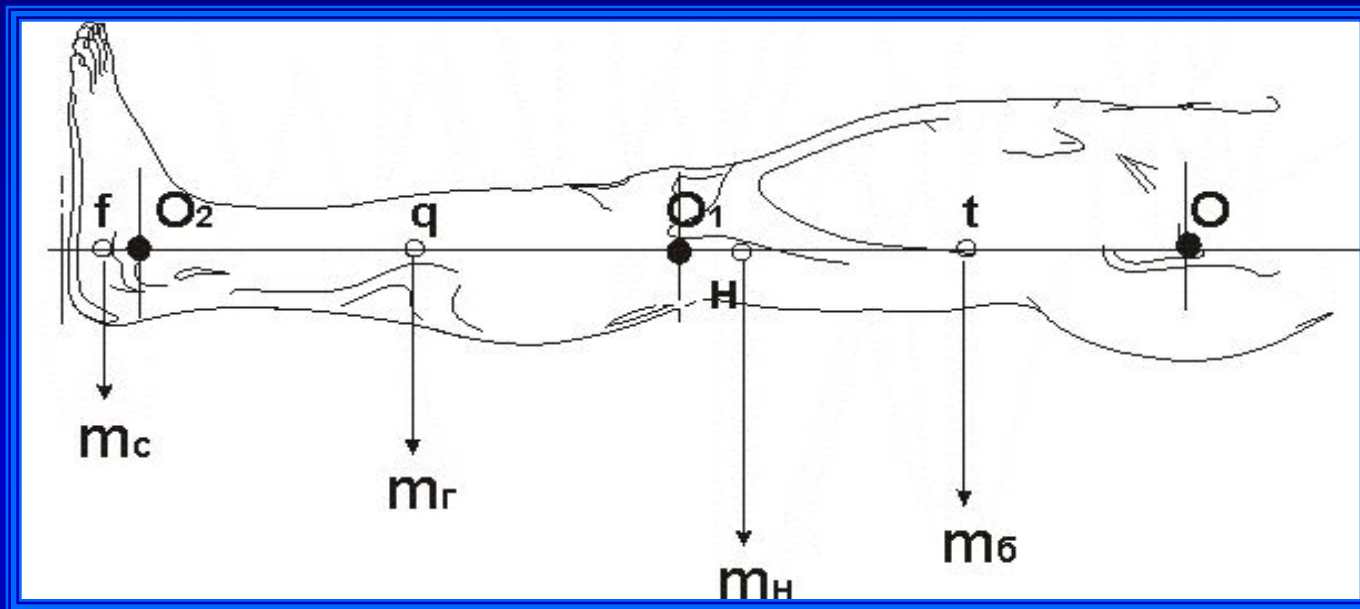
где Y – прогнозируемая масса сегмента, кг;

B_0, B_1, B_2 – коэффициенты множественной регрессии;

X_1 – общая масса тела, кг;

X_2 – рост, см;

Сегментарная структура нижней конечности с центрами гравитации



m_b – масса бедра, m_r – масса голени, m_c – масса стопы, m_n – масса всей нижней конечности, t – точка центра масс бедра, q – точка центра масс голени; f – точка центра масс стопы; H – точка общего центра масс нижней конечности; O – точка вращения в тазобедренном суставе; O_1 – точка вращения в коленном суставе; O_2 – точка вращения в голеностопном суставе.

Положение центра тяжести в % по отношению к длине сегмента (Донской Д.Д., 1960)

Сегмент	Масса сегмента (в % от массы тела)	Положение центра тяжести по отношению к длине сегмента l (м)
Стопа	2	$0,4l_c$
Голень	5	$0,42l_r$
Бедро	12	$0,44l_b$

Основываясь на данных о положении центров тяжести по отношению к весу и длине сегментов нижних конечностей составляем уравнение для определения положения общего центра тяжести всей нижней конечности относительно точки О:

$$h_H = \frac{m_b \cdot 0,44l_b + m_r \cdot (0,42l_r + l_b) + m_c \cdot (0,4l_c + l_r + l_b)}{m_b + m_r + m_c}$$

здесь m_n – общая масса нижней конечности ($m_b + m_r + m_c$),
ее общий центр тяжести расположен на расстоянии h_n от точки О,
в точке Н.

Произведя расчеты с учетом веса сегментов тела и длин плеч силы, можно с достаточным уровнем достоверности рассчитать нагрузки, оказываемые на межпозвонковые диски поясничного отдела позвоночника **при выполнении упражнений с поднятием прямых ног.**

В качестве примера приведен расчет для больного с массой тела 90 кг и ростом 186 см.

Принимаем следующие значения антропометрических параметров:

длина бедра $l_b = 0,42$ м;

длина голени $l_g = 0,43$ м;

длина стопы $l_c = 0,08$ м

Пример расчета массы сегментов нижних конечностей для больного с массой 90 кг и ростом 186 см

Сегмент	V_0	V_1	V_2	X_1 кг	X_2 см	Y кг	% к весу тела
Стопа	-0,8290	0,0077	0,0073	90	186	1,22	1,4
Голень	-1,5920	0,0362	0,0121	90	186	3,92	4,4
Бедро	-2,6490	0,1463	0,0137	90	186	13,07	14,5
Вес нижней конечности						18,20	
Для парных сегментов (x 2)	-10,1400	0,3804	0,0662	90	186	36,41	40,5

По формуле находим положение центра тяжести нижних конечностей

$$l_{KH} = \frac{13,1 \cdot 0,44 \cdot 0,42 + 3,92 \cdot (0,42 \cdot 0,43 + 0,42) + 1,22 \cdot (0,4 \cdot 0,08 + 0,43 + 0,42)}{13,1 + 3,92 + 1,22} = 0,32$$

Статический момент силы тяжести нижней конечности относительно оси вращения в тазобедренном суставе в начале подъема ($\alpha = 0$)

$$M_{\theta}(m \cdot g)_H = m_H \cdot g \cdot l_H \cdot \cos \alpha = 18,2 \cdot 10 \cdot 0,32 \cdot \cos 0 = 58,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для одновременного подъема двух конечностей, соответственно, получаем удвоенное значение

$$M_{\theta}(m \cdot g) = 116,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В соответствии с уравнением этот момент должен уравниваться моментом, создаваемым силой $m. iliopsoas$:

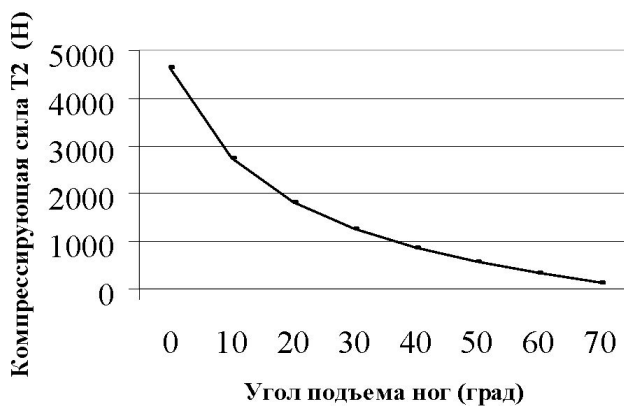
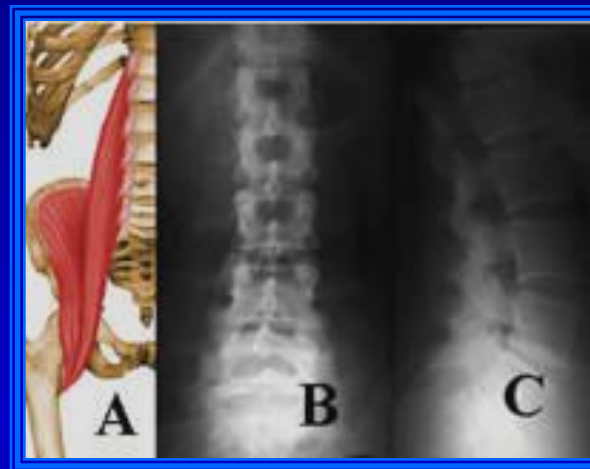
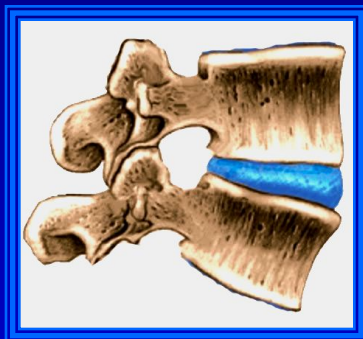
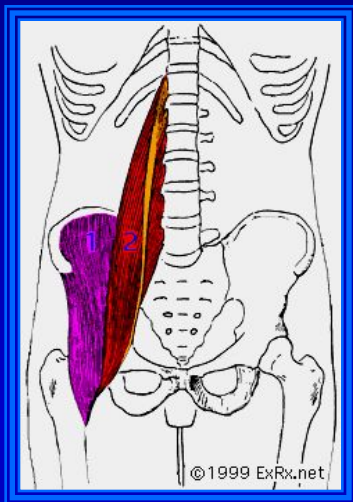
$$O_2O_3 = \sqrt{l_2^2 + l_3^2 + 2l_2l_3 \cos \alpha} = \sqrt{0,07^2 + 0,35^2 + 2 \cdot 0,07 \cdot 0,35 \cos 25^\circ} = 0,41 \text{ м}$$

$$R = \frac{l_2 l_3}{O_2 O_3} \sin \alpha = \frac{0,07 \cdot 0,35}{0,41} \sin 25^\circ = 0,025 \text{ м}$$

Таким образом, сила сокращения $m. iliopsoas$ составляет

$$H = M_{\theta}(m \cdot g) / R = 116,5 / 0,025 = 4660 \text{ Н}$$

Итак, при подъеме двух прямых ног из положения лежа на горизонтальной плоскости, в начальной фазе подъема сокращающаяся *m. iliopsoas* создает компрессирующее усилие на поясничный отдел позвоночника равное 4660 Н.



Максимум компрессирующего усилия наблюдается в начальной фазе подъема, то есть при отрыве прямых ног от плоскости. С увеличением угла подъема сила сокращения *m. iliopsoas* интенсивно падает. Этому способствует, как снижение момента силы тяжести сегментов ног, так и увеличение плеча силы подвздошно-поясничной мышцы

**Средние значения общей прочности (кН) и предела прочности (МПа)
Межпозвоноковых дисков**
(Шульман Х.М., Данилов В.И., 1975)

Межпозвоноковый диск	Мужчины		Женщины	
	общая прочность, (кН)	предел прочности (МПа)	общая прочность (кН)	предел прочности (МПа)
L ₁	5,18	4,57	3,84	3,93
L ₂	5,32	4,22	3,95	3,64
L ₃	5,29	4,03	4,1	3,54
L ₄	5,41	3,9	4,19	3,39
L ₅	5,15	3,81	3,66	3,19

Сравнивая полученные значения с данными о прочности межпозвоночных дисков, представленными в таблице, можно сделать выводы:

Выводы

- ★ При подъеме двух выпрямленных ног из горизонтального положения при фиксированном туловище, возникают компрессирующие нагрузки, которые приближаются к предельно допустимым значениям для нормальных структур двигательных сегментов поясничного отдела позвоночника.
- ★ С увеличением угла подъема сила сокращения *m. iliopsoas* уменьшается, как за счет снижения момента силы тяжести сегментов ног, так и за счет увеличения плеча силы подвздошно-поясничной мышцы.
- ★ В случае дегенеративно измененных структур ПДС травмирующее действие указанного движения повышается.
- ★ Подъем туловища при фиксированных ногах вызывает аналогичные компрессирующие нагрузки на структуры ПДС поясничного отдела позвоночника, за счет действия *m. iliopsoas*.

Выводы

Упражнения, связанные с подъемом прямых ног из горизонтального положения должны быть исключены из комплексов лечебной физкультуры, а аналогичные движения – из актов повседневной жизни у больных остеохондрозом поясничного отдела позвоночника.



Альтернативой этим упражнениям могут стать биомеханически обоснованные упражнения, выполняемые с предварительно согнутыми в коленных суставах ногами и комплексы упражнений, выполняемые на наклонной плоскости.



В настоящее время нами проводится биомеханический анализ широко рекомендуемых упражнений, связанных с глубоким наклоном вперед. Результаты исследований будут опубликованы в научных изданиях в ближайшее время.



Благодарю за внимание