



Институт травматологии и ортопедии АМН Украины



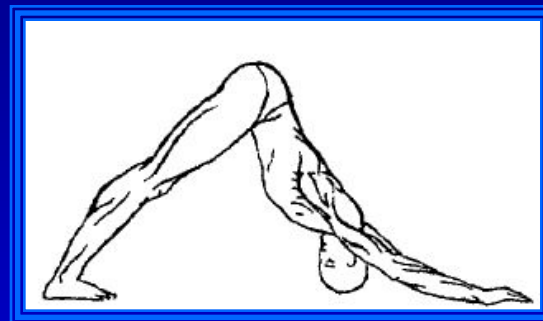
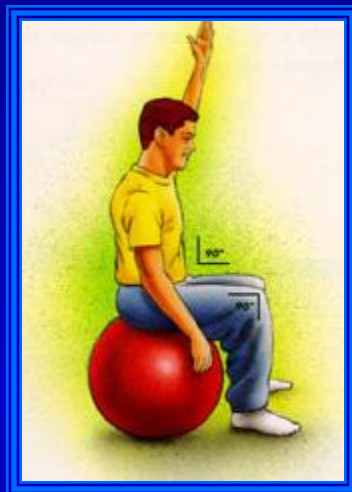
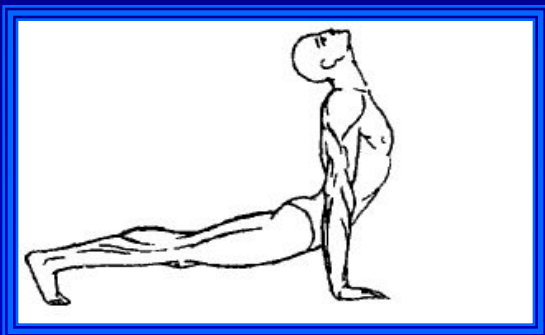
**Биомеханическая оценка повреждающего действия упражнений ЛФК при поясничном остеохондрозе**

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

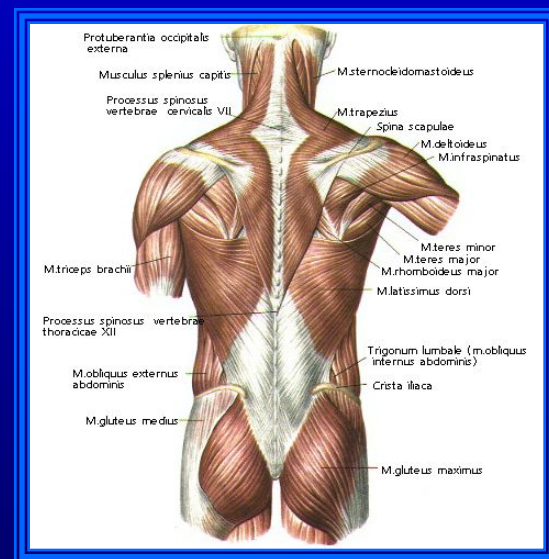
Киев, 2010

[900igr.net](http://900igr.net)

**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**

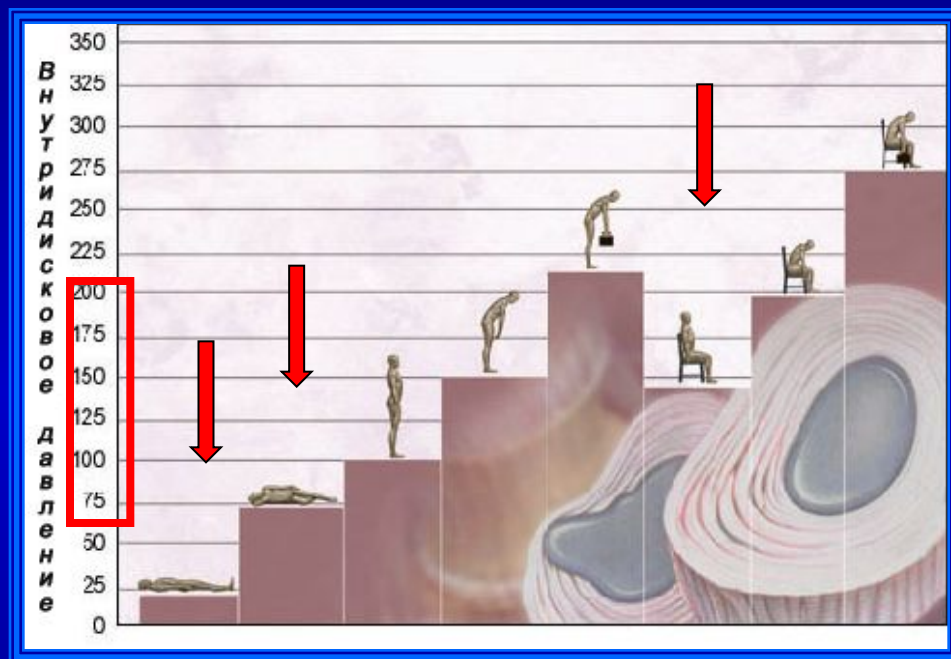
*Malcolm I.V. (1987)*

**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.**

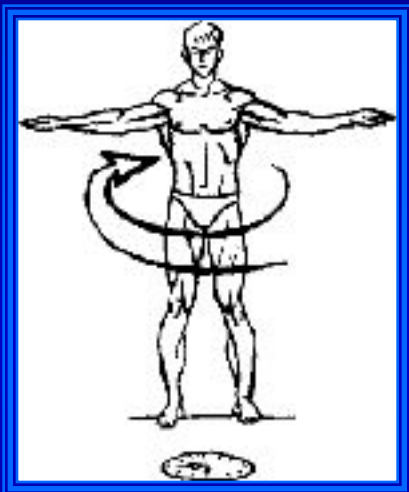


**Даже легкие упражнения, выполняемые в положении сидя и лежа, несмотря на кажущуюся разгрузку позвоночника, тем не менее, превышают допустимый уровень компрессирующей нагрузки на структуры двигательных сегментов, усугубляя течение патологического процесса у больных остеохондрозом**

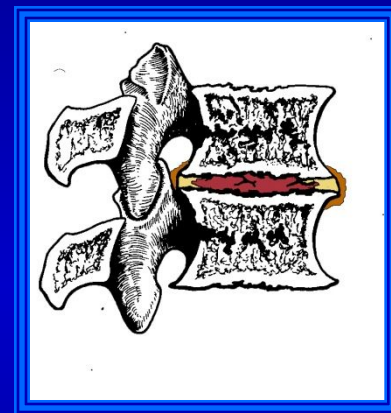
*Nachemson A.L. (1971, 2001)*

**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.**

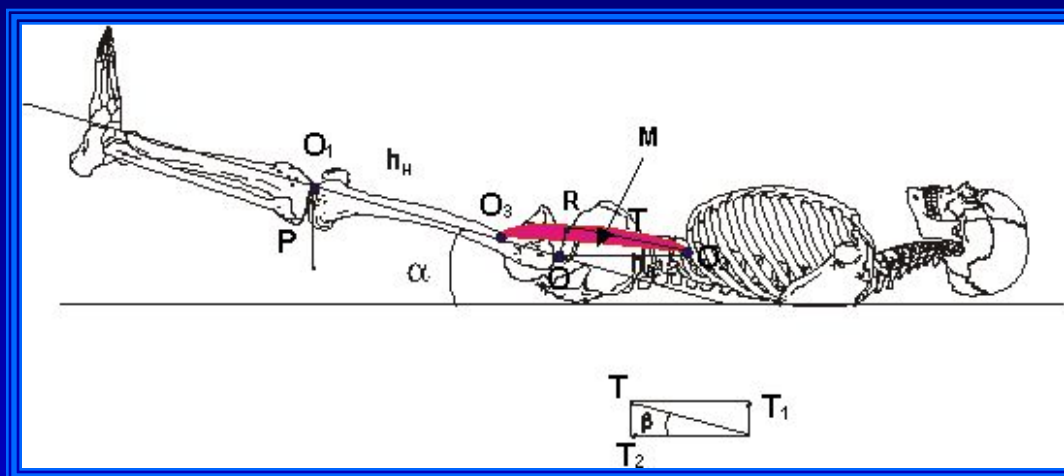


**Подбор тех или иных упражнений должен осуществляться избирательно и строго индивидуально с учетом особенностей течения заболевания.**

**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:

$\alpha$  – 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),

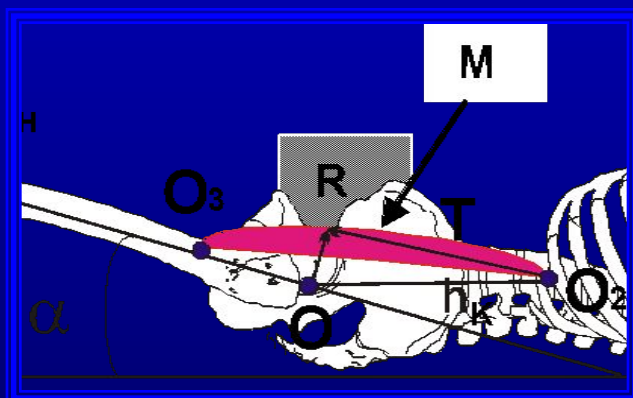
$P$  – вес нижней конечности (Н),

$m$  – масса нижней конечности (кг),

$g$  – ускорение свободного падения ( $10 \text{ мс}^2$ ),

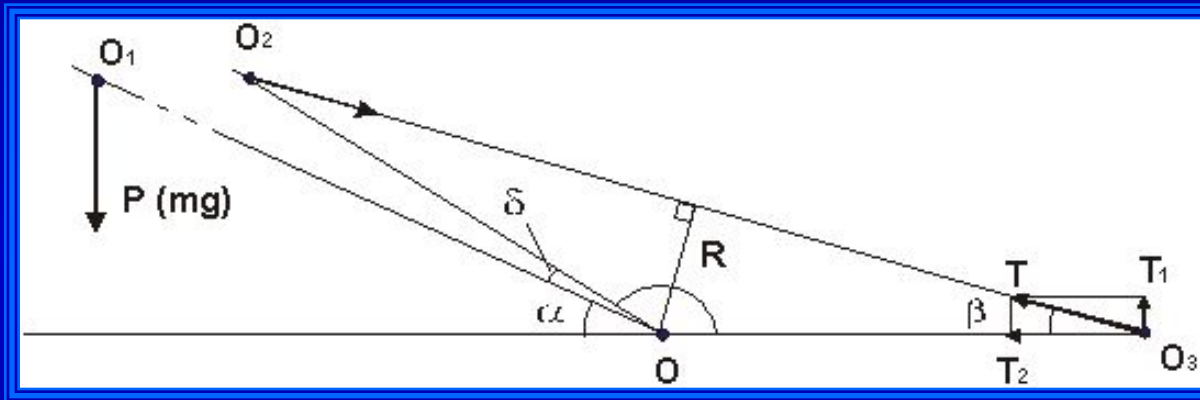
$R$  – плечо силы, развиваемой подвздошно-поясничной мышцей относительно оси тазобедренного сустава (м),

$T$  – 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 лежания 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:

$$R = mg \frac{l_1}{R} \cos \alpha$$

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

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

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

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

$$\frac{O_2 O_3}{\sin \psi} = \frac{OO_2}{\sin \beta}$$

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



Теперь находим:

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

После подстановки получаем:

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

Компрессирующая составляющая T2 силы T равна

$$R_2 = T \cos \beta$$

Из формулы

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

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

С учетом этого получаем формулу расчета компрессирующей составляющей

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

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:

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

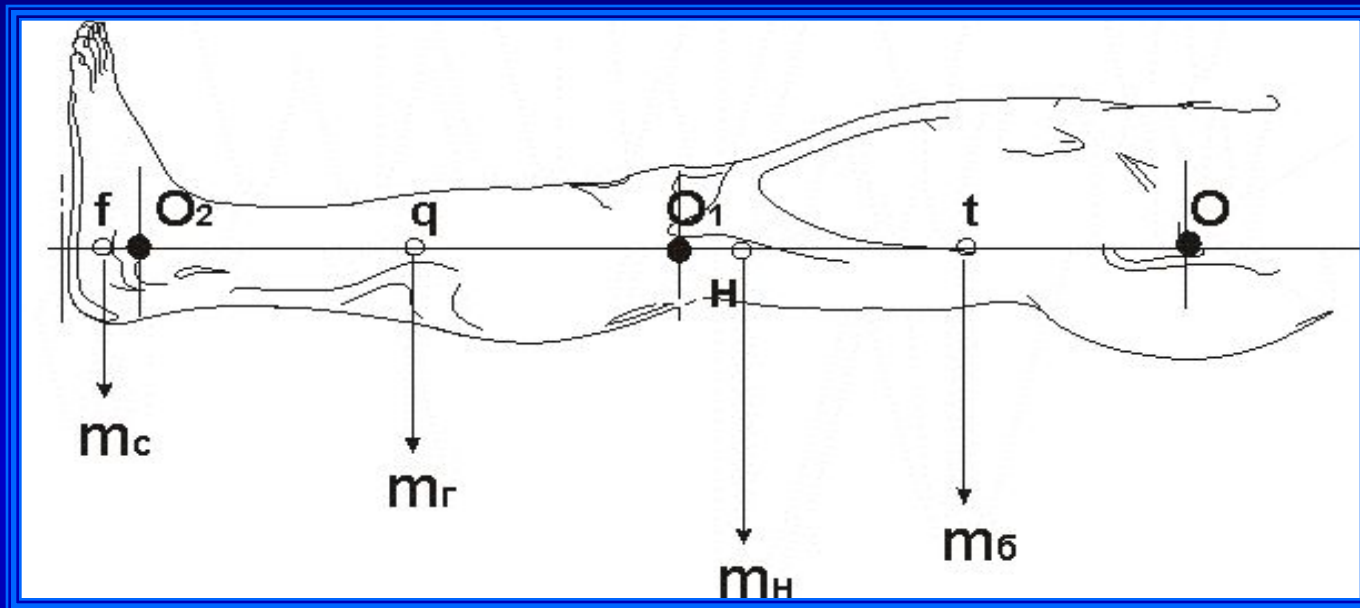
где  $Y$  – прогнозируемая масса сегмента, кг;

$B_0, B_1, B_2$  – коэффициенты множественной регрессии;

$X_1$  – общая масса тела, кг;

$X_2$  – рост, см;

## Сегментарная структура нижней конечности с центрами гравитации



$m_6$  – 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  $m_H$  – общая масса нижней конечности ( $m_b + m_r + m_c$ ),  
ее общий центр тяжести расположен на расстоянии  $h_H$  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 ( $a = 0$ )

$$M_{\theta}(m \cdot g)_H = m_H \cdot g \cdot h \cdot \cos 18,2 \cdot 10 \cdot 0,32 = 58,2 \cdot$$

Для одновременного подъема двух конечностей, соответственно, получаем удвоенное значение

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

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

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

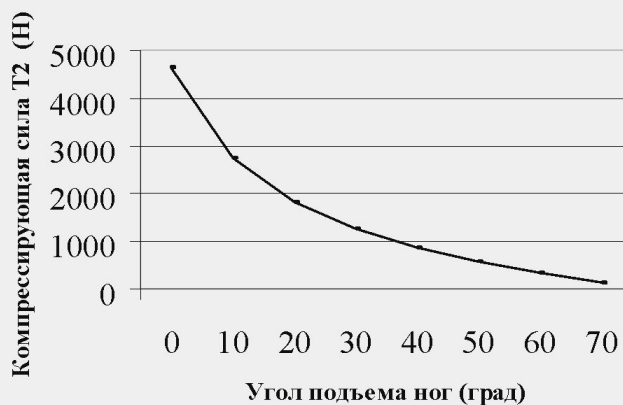
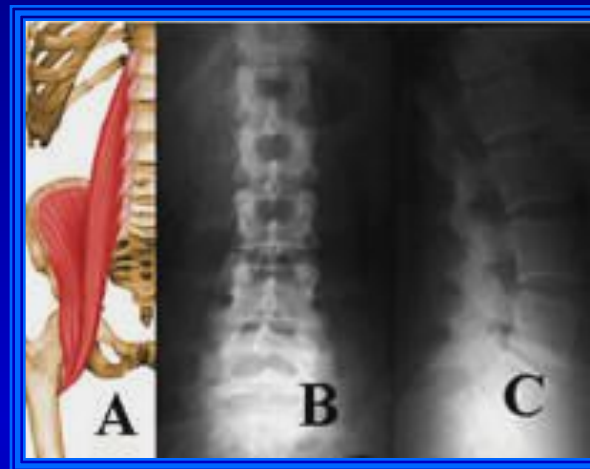
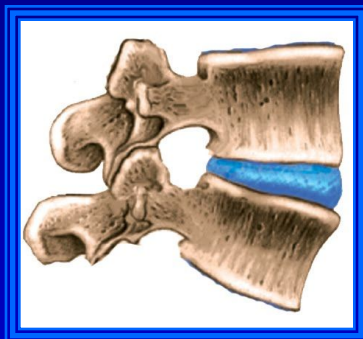
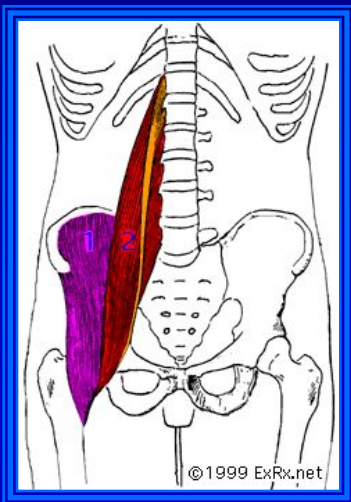
$$R = \frac{l_2 l_3}{O_2 O_3} \sin 25^\circ = \frac{0,07 \cdot 0,35}{0,41} \sin 25^\circ = 0,025$$

**Таким образом,** сила сокращения *m. iliopsoas* составляет

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



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 <sub>1</sub>	5,18	4,57	3,84	3,93
L <sub>2</sub>	5,32	4,22	3,95	3,64
L <sub>3</sub>	5,29	4,03	4,1	3,54
L <sub>4</sub>	5,41	3,9	4,19	3,39
L <sub>5</sub>	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