

## РОЛЬ ЖЕЛТОЙ СВЯЗКИ В СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЗВОНОЧНОГО ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА

Н.А. Корж, С.Р. Михайлов, А.Е. Барыш

Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И.Ситенко АМН Украины

*Проведено экспериментальное изучение кинематики позвоночного двигательного сегмента шейного отдела позвоночника на 14 анатомических препаратах при помощи оригинального способа натяжения и устройства для биомеханических исследований позвоночника, предложенных авторами. Моделировались экспериментальные ситуации с разрушением различных элементов заднего опорного комплекса позвоночника, которые имитировали повреждения. В результате проведенного исследования выделены две фазы перемещения позвонка в сагиттальной плоскости, причем наиболее значительное лимитирующее влияние на первую фазу имеет нагрузка желтой связки, а ее повреждение приводит к нарушению стабилизации в системе межпозвоночного сочленения.*

При относительно большом количестве публикаций, посвященных функционированию позвоночника, до сих пор не существует однозначного понимания биомеханики позвоночника человека. В публикации Lysell [6] приведены данные об общих принципах перемещении шейных позвонков. Автор уделил много внимания кинематическим расчетам, однако почти полностью опустил вопрос о принципах нагружения препарата. Работа White A. и др. [12] посвящена изучению влияния различных элементов позвоночного двигательного сегмента в шейном отделе позвоночника на характер перемещений в его пределах при нагружении краниального позвонка таким образом, чтобы создать сгибательно-разгибательные движения в сегменте. По результатам этих и других работ трудно судить о том, как функционируют позвоночные двигательные сегменты шейного отдела позвоночника, так как исследуемые объекты нагружались усилиями, которые по способу их приложения значительно отличаются от естественных. В связи с этим нами были проведены экспериментально-теоретические исследования, целью которых явилась дальнейшая разработка концепции состояния нестабильности позвоночника. Эксперимент предпринят с целью уточнения роли желтой связки при движениях элементов позвоночного двигательного сегмента в сагиттальной плоскости.

### Материал и методы исследования

Экспериментальное изучение кинематики шейного отдела позвоночника проведено на 14 анатомических препаратах, полученных при су-

дебно-медицинских вскрытиях трупов в возрасте от 22 до 50 лет, причина смерти которых не была связана с повреждениями позвоночника. Перед экспериментом препарат тщательно очищали от мышечной ткани с сохранением костно-связочных структур. Производили контрольную рентгенографию препарата для исключения возможных дегенеративных изменений или врожденных аномалий.

### Краткое содержание методики экспериментального исследования

Известно, что анатомическому строению все позвоночные двигательные сегменты шейного отдела позвоночника, лежащие ниже С2 позвонка, мало отличаются друг от друга [1]. Однако такой тип шейного отдела, в котором общая амплитуда движений равномерно распределялась бы между всеми сочленениями, встречается редко – примерно в 25% случаев. Основной объем движений в сагиттальной плоскости приходится на один или два позвоночных двигательных сегмента – С4-С5, или С5-С6 [5]. Исходя из удобства установки препарата, нами выбран С4-С5 позвоночный двигательный сегмент.

Подготовленный препарат устанавливали на стенде, на котором монтировали устройство для биомеханических исследований позвоночника. Каудальную часть препарата фиксировали в специально разработанном устройстве. Использовали усовершенствованную методическую базу и обоснование способа нагружения препарата позвоночника, более близкого к естественным ус-

ловиям. Эта задача реализована в разработанном авторами способе исследования анатомического препарата [2]. Отличительной особенностью этого способа нагружения является то, что усилия к краниальному отделу препарата прилагают так, чтобы их равнодействующая воздействовала на краниальный позвонок препарата в зоне, соответствующей расположению пульпозного ядра, и была направлена перпендикулярно плоскости сечения краниального позвонка. При этом направление равнодействующей сохраняется на протяжении всего исследования, независимо от возникающих деформаций препарата [4].

Стенд для исследования позвоночника оснащали силовой динамометрической системой, фиксирующей изменения состояния равновесия внешних сил, которые воздействуют на препарат. Использовали регистрирующие средства: угломер для измерения угла наклона препарата, самопишущее приспособление для регистрации траектории перемещения препарата в сагиттальной плоскости и кассетодержатель рентгеновских кассет для рентгенометрических исследований (при этом сохраняли постоянное расстояние между исследуемым объектом и кассетой, что позволяет получить вполне сопоставимые рентгеновский снимки). Считая, что масса части тела, расположенной над первым грудным позвонком, составляет примерно 10% массы индивидуума [11], мы выбрали для воздействия на исследуемый уровень соответствующую величину равнодействующей внешних усилий, имитирующей физиологические условия нагружения.

С помощью скальпеля подвергали разрушению те или иные элементы исследуемого позвоночного двигательного сегмента, искусственно воссоздавая повреждения. Каждое разрушение или их комбинация назвали экспериментальной ситуацией. Было исследовано 7 экспериментальных ситуаций:

- повреждение желтой связки;
- повреждение суставных отростков,
- комбинация повреждения желтой связки и суставных отростков,
- комбинация повреждения суставных отростков, желтой связки, надостистой и межкостистой связок,
- повреждение крючковидных отростков,
- повреждение крючковидных и суставных отростков,
- комбинация повреждения крючковидных и суставных отростков с повреждениями надостистой и межкостистой связок.

## Обработка результатов экспериментального исследования

По общепринятой методике статистической обработки вариационных рядов для всех регистрируемых параметров вычислено среднеарифметическое значение ( $M$ ), его ошибка ( $m$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\delta$ ).

Наиболее информативным из всех полученных показателей оказались траектория перемещения и соответствующий ей угол наклона препарата. Длина общей траектории ( $L$ ) интактного препарата  $114 \pm 1,1$  мм ( $\delta=4,1$ ). Этой траектории соответствует общий угол наклона ( $\alpha$ ) С4 позвонка по отношению к С5, равный  $26,9 \pm 0,3^\circ$  ( $\delta=1,2$ ). В то же время участок траектории движения ( $l$ ), соответствующий состоянию равновесного нагружения, составил  $68,3 \pm 0,8$  мм ( $\delta=3,1$ ) при угле поворота ( $\beta$ ), равном  $18,1 \pm 0,4$  ( $\delta=1,4$ ). Величины  $L$ ,  $\alpha$ ,  $l$ ,  $\beta$  выведены на основании расчета экспериментальных данных по всем анализируемым анатомическим препаратам. Однако известно, что анатомические препараты, используемые для исследований, не являются однородными и, следовательно, на биомеханические свойства, подлежащие изучению, значительное влияние оказывают индивидуальные различия биологического материала элементов позвоночных сегментов и их анатомические особенности. Поэтому для обеспечения сравнимости данных мы отказались от сопоставления параметров, полученных после каждого разрушения, со средними данными, характерными для всех препаратов, участвующих в экспериментальном исследовании. Для этого была введена факторная группировка экспериментального материала, состоящая из 13 групп. В них вошли экспериментальные ситуации, прирост параметров которых недостоверно отличался друг от друга. Такой подход позволил получить необходимую информацию о приросте показателей параметров во всех ситуациях, входящих в эксперимент.

В объеме настоящего сообщения, касающегося изучения влияния желтой связки на биомеханику исследуемого сегмента, использованы только первые четыре ситуации.

Результаты экспериментальных исследований приведены в таблицах 1–4.

### Обсуждение результатов экспериментального исследования

Проведенные экспериментальные исследования позволили заключить, что движение позвонка в сагиттальной плоскости осуществляется в две фазы:

- первая фаза характеризуется минимальным сопротивлением перемещению со стороны

**Таблица 1**  
**Изменения общей траектории (L)**  
**движения препарата**

№	Показатели статистической обработки						
	до разрушения			после разрушения			
	М	$\delta$	m	М	$\delta$	m	P %
1	123,6	5,9	2,7	153,4	6,8	3,0	0,1
2	112,3	1,2	0,6	117,7	2,1	1,1	0,1
3	114,0	2,0	0,9	137,6	8,3	3,7	0,1
4	121,8	8,4	4,2	165,3	7,5	3,8	0,1

**Таблица 3**  
**Изменения траектории (l) в I фазе движения**

№	Показатели статистической обработки						
	до разрушения			после разрушения			
	М	$\delta$	m	М	$\delta$	m	P %
1	74,8	7,1	3,2	100,2	5,2	2,3	0,1
2	64,5	2,3	1,2	73,5	3,8	1,9	1,0
3	66,6	2,8	1,3	93,2	6,8	3,0	0,1
4	74,0	9,6	4,8	103,5	7,1	3,6	1,0

элементов позвоночного двигательного сегмента (равновесное нагружение);

– вторая фаза сопровождается ростом сил пассивного сопротивления движению (избыточное нагружение).

Было установлено (табл.4), что угловое перемещение позвонка в первой фазе движения составило  $18,1 \pm 0,4^\circ$ . В литературе вопрос об этом объеме движений позвоночника, его отделов и каждого сочленения многократно дебатировался. Известно, что объем движений подвержен значительным индивидуальным вариациям. Статистические данные, приводимые многими исследователями, неоднозначны. Однако средняя величина угла поворота С4 позвонка в первой фазе движения, полученная нами в эксперименте, позволяет считать, что именно эта фаза движения является характерной для позвоночного двигательного сегмента в физиологических условиях. Louis [5] называет цифру  $20^\circ$  в качестве характерной для общего объема движений в С4-С5 межпозвоночном сочленении, Pick [9] говорит о  $18,5^\circ$ , Mestdagh характеризовал общий объем движений в исследуемом сочленении цифрой  $18^\circ$  [7]. Таким образом, подтверждается одно из основополагающих положений, гласящее, что природа во всех своих проявлениях стремится к экономии [10]. Различные подходы к определению нейтральной позиции явились причиной расхождения данных некоторых исследователей в определении максимальной величины экстензии и флексии. Подробно это вопрос освещен в работе Lysell [6].

Биомеханически наиболее обоснован подход

**Таблица 2**  
**Изменения общего угла поворота ( $\alpha$ ) позвонка**

№	Показатели статистической обработки						
	до разрушения			после разрушения			
	М	$\delta$	m	М	$\delta$	m	P %
1	29,8	1,1	0,5	45,4	4,0	1,8	0,1
2	25,3	2,2	1,1	28,0	2,1	1,1	5,0
3	26,0	1,9	0,8	37,0	4,8	2,1	1,0
4	28,5	2,5	1,3	41,0	1,5	0,8	0,1

**Таблица 4**  
**Изменение угла поворота ( $\beta$ ) позвонка I фазе движения**

№	Показатели статистической обработки						
	До разрушения			После разрушения			
	М	$\delta$	m	М	$\delta$	m	P %
1	21,8	2,8	1,3	30,0	2,8	1,3	1,0
2	15,0	1,3	0,7	18,7	1,4	0,7	1,0
3	16,4	1,7	0,8	25,4	3,4	1,5	1,0
4	19,5	4,3	2,2	27,0	2,2	1,1	1,0

к выбору нейтральной позиции позвоночника по минимальной активности мышц, управляющих его движениями. Понятно, что в эксперименте на анатомических препаратах найти эту позицию не представляется возможным. Поэтому было проведено исследование движения от крайнего положения разгибания до крайнего положения сгибания, при условии сохранения постоянства равновесия приложенных внешних усилий, обеспеченного нашим способом нагружения, что свидетельствует первой фазе движения в сочленении.

В этой фазе движения позвонка в эксперименте соответствовали регистрируемые параметры  $l$  и  $\beta$ . Рассматривая их, мы пришли к заключению, что при функционировании шейного отдела позвоночника в условиях физиологических внешних усилий наибольшее влияние на величину перемещений позвонка от положения разгибания к положению сгибания оказывает желтая связка, причем даже ситуация 2 с ее изолированным рассечением входит в одну из суммарных групп с наибольшим значением параметра  $l$  (табл.3). Аналогичный результат получен и для параметра  $\beta$  (табл.4).

Эти результаты, с нашей точки зрения, представляют определенный теоретический интерес. Функция желтой связки в биомеханике позвоночника окончательно не выяснена, хотя обсуждение этого вопроса начато еще Pick [9]. Известно, что по своей структуре эта связка отличается от других связок человеческого организма большим количеством эластичных волокон. Подробно механические свойства ткани желтой связки обсуждались в работе Nachemson [8].

Наши данные позволяют считать роль желтой связки в биомеханике позвоночного двигательного сегмента шейного отдела весьма существенной. Именно это образование в наибольшей мере лимитирует первую фазу движения позвонка, т.е. сагиттальную подвижность в межпозвоночном соотношении в естественных условиях. По-видимому, динамическое равновесие между усилиями в желтой связке и межпозвоночном диске играет большую роль в восприятии сегментом физиологических нагрузок. Кроме того, желтая связка, постоянно находясь в состоянии некоторого напряжения, может участвовать в контроле положения тела благодаря свободным нервным окончаниям, имеющимся в ее самых поверхностных слоях. Роль желтой связки в качестве структуры, ограничивающей переднее сгибание, в наших экспериментах подтвердилась и во второй фазе движения. Существенное влияние на величину параметра  $L$  (табл. 1) в экспериментальных ситуациях оказало именно рассечение желтой связки. Если сравнить между собой эксперименталь-

ную ситуацию 4 и 7, то очевидно, что на резкое увеличение параметров  $L$  и  $a$  в экспериментальной ситуации с удалением задних отделов повлияло именно рассечение желтой связки. Кроме того, влияние рассечения желтой связки на кинематику при избыточном внешнем нагружении подтверждает высоко достоверное снижение коэффициента пропорциональности. Этот параметр нами введен при обнаружении в различных экспериментальных ситуациях неоднозначной зависимости изменения при одних и тех же угловых деформациях препарата.

## Выводы

Проведенное экспериментальное исследование доказало целесообразность выделения двух фаз перемещения позвонков в сагиттальной плоскости, при этом первую фазу в наибольшей степени лимитирует напряжение желтой связки.

Повреждение желтой связки автономно или в сочетании с другими элементами межпозвоночного сочленения приводит к снижению его несущей способности.

## Литература

1. Синельников Р.Д. Атлас анатомии человека. – М.: Медицина, 1972. – Т.1. – С.25-28.
2. А.с. 1219069 СССР МКИ А 61 В 17/60. Способ биомеханического исследования анатомического препарата позвоночника и устройство для его осуществления /Н.А.-Корж, Е.М.Маковоз, С.Р.Михайлов, Э.Д.Чихладзе. – №3738788/28-14; Заявл. 14.05.84; Опубл. 23.03.86, Бюл. 11 //Открытия. Изобретения.– 1986.– №11.– С.28.
3. А.с. 1120988 СССР, МКИ А 61 В 17/18. Устройство для фиксации препарата позвоночника при биомеханических исследованиях /Н.А.Корж, Е.М.Маковоз, С.Р.Михайлов.– №3628155/28-13; Заявл. 25.07.83; Опубл. 30.10.84, Бюл. 40 //Открытия. Изобретения.– 1984.– №40.– С.13-14.
4. Хвисюк Н.И., Корж Н.А., Маковоз Е.М. и др. // Достижения биомеханики в медицине: Тез. докл. междунар. конф. – Рига, 1986.– Т.2.– С.606.

5. Louis R., Surgery of the spine.– Berlin et al.: Springer Verlag, 1983. – 328 p.
6. Lysell B. //Acta Orthop. Scand.– 1969.– № 123.– 61 p.
7. Mestdagh H. Anatomic fonctionelle du rachis cervical interior.– These, Lille, 1969.
8. Nachemson A.L., Evans I.H. // J.Biomech.- 1968. – Vol.1, N3. –P.211-220.
9. Pick S. Handbach der Anatomie und Mechanic der Gelenke.– Jena: Verlag G.Pischer, 1904.
10. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. – М.: Мир, 1969.– 215 с.
11. Verbiest H. //J.Bone Joint Surg.– 1969. – Vol.51-A.– P.1489-1493.
12. White A.A., Johnson R.M., Panjabi M.M., Southwick W.O. // Clin. Orthop.– 1975.– Vol.109.- P.85-86.

## Контактная информация:

Барыш Александр Евгеньевич

Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМНУ,  
61024, г. Харьков, ул. Пушкинская, 80