

© Коллектив авторов, 2009
УДК 616.711-001.5:612.76

С.В.Орлов, А.Ю.Каныкин, В.П.Москалев, В.В.Щедренко, Р.Л.Седов

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ НЕСТАБИЛЬНЫХ ПЕРЕЛОМОВ ПОЗВОНОЧНИКА

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П.Павлова» (ректор — проф. М.Д.Дидур); ГУП «Российский нейрохирургический институт им. проф. А.Л.Поленова» (дир. — проф. В.П.Берснев), Санкт-Петербург; Больница скорой медицинской помощи, г. Калининград

Ключевые слова: нестабильный перелом позвоночника, математическое моделирование, лечение.

Введение. Лечение осложненной травмы позвоночника остаётся актуальной проблемой современной спинальной хирургии, что связано как с большими сроками нетрудоспособности, так и с высоким процентом инвалидизации пострадавших [1, 5]. Между тем, в последние десятилетия наблюдается значительный рост осложненных повреждений позвоночника, как следствие увеличения количества высокоскоростного транспорта, промышленных травм, онкологических заболеваний [1, 4, 6].

Концептуальным положением при выборе вида хирургического вмешательства на позвоночнике при его травме является понятие нестабильности. Спинальная нестабильность может быть представлена в виде нестабильности собственно позвонков, нестабильности неврологической, а также при их сочетании [5]. Оригинальная классификация повреждений позвоночника Holdworth, а также её современные модификации Denis, McAfee, Fergusson, Margal, Harms, Gertzstein включают понятие нестабильности, основанное на исследованиях биомеханики позвоночника [3, 5, 6]. С этой точки зрения, позвоночный столб является уникальной остеолгаментозной структурой, представляющей кинематическую цепь, связывающую весь скелет и обладающей шестью степенями свободы. Деструкция одного или нескольких сегментов может приводить к нарушению его опорной или защитной функций. Выбор метода стабилизации поврежденного сегмента зависит от того, какую роль в стабильности сегмента играет поврежденная его часть, поэтому в показаниях к оперативному лечению важно точно

рассчитывать процент потери опорности каждого из несущих столбов поврежденного позвонка [2].

Материал и методы. С целью точного расчета потери опорности каждого из несущих комплексов позвоночного столба при травме была создана математическая модель трехпозвонкового комплекса. В основу методики положено

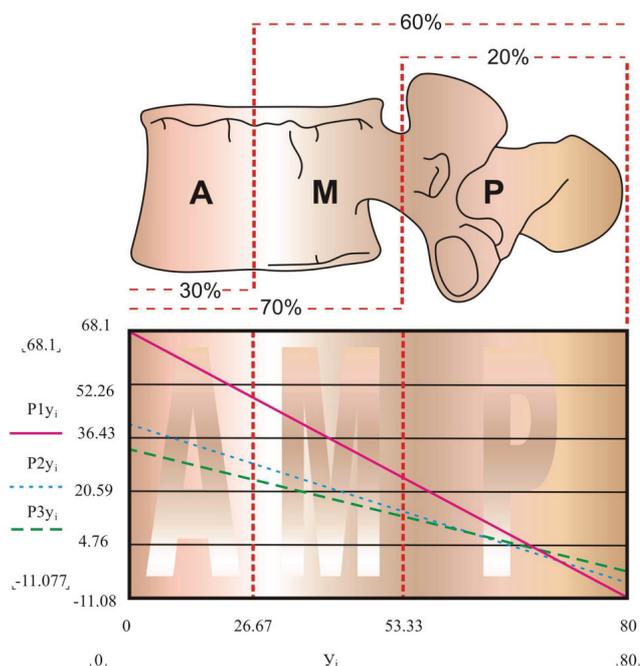


Рис. 1. Схематическое представление распределения нагрузок на позвонок при аксиальной компрессии и распределение аксиальной нагрузки по данным математического моделирования.

A — передний опорный столб (1); M — средний опорный столб (2); P — задний опорный столб. На графике — распределение нагрузки по соответствующим столбам, по данным математической модели трехпозвонкового комплекса. По оси абсцисс — нагрузка (в кг/см²), по оси ординат — длина (в мм) 1 и 2 столбы несут 70–75% нагрузки. P1y — нагрузка на первый позвонок, P2y — второй позвонок, P3y — третий позвонок.



Рис. 2. Магнитно-резонансная томограмма пациента с многооскольчатый перелом тела L_{11} с его клиновидной деформацией (тип А 3.2.1.) по Magerl и соавт. [7]. Разрушены передний и средний столбы. Задние отделы тела внедряются в позвоночный канал, вызывая его стеноз более 50%.

а — аксиальная проекция; б — боковая.

математическое описание динамических процессов дифференциальными уравнениями Лагранжа II рода, составляемого на основе расчетной схемы трехпозвонкового комплекса, представленного как дискретные сосредоточенные массы, связанные упруго-демпфирующими элементами.

Расчет динамических нагрузок позвоночника рассматривался на примере трехпозвонкового комплекса в норме и при патологии — неустойчивом состоянии (нестабильности) при силовых воздействиях в различных плоскостях. За основу был принят принцип стабильности позвоночного столба, изложенный L.Reno [5], когда стабильность позвоночника представлена в вертикальной, горизонтальной и аксиальной плоскостях (ротация), что обеспечивается телами позвонков с дугоотростчатými суставами, связанными между собой

упруго-демпфирующими элементами (межпозвонковые диски, мышечно-связочный аппарат). Выбранная динамическая модель трехпозвонкового комплекса человека является механической системой, для которой справедливо уравнение Лагранжа II рода с учетом кинетической и потенциальной энергии; диссипативной функции, определяемой мышечно-связочным аппаратом, и внешних воздействий [3].

При помощи математической модели были изучены основные варианты травматических повреждений позвоночника, сопровождаемых его нестабильностью, и произведена математическая оптимизация их хирургического лечения. Кроме того, произведены расчеты деформаций и смещений при вертикальных нагрузках клиновидной компрессии позвонка и при многооскольчатых формах разрушения. В целом, графики распределений нагрузок, полученные при моделировании нормальных позвонков в грудном и поясничном отделах, точно соответствовали принятой в современной вертебрологии трехстолбовой концепции (рис. 1).

Результаты и обсуждение. Метод математического моделирования стабильности позвоночника был применен при выборе методов оперативного лечения у 72 больных с нестабильными повреждениями позвоночника, которые были оперированы в отделении нейрохирургии больницы скорой медицинской помощи г. Калининграда в период с 1997 по 2004 г. Средний возраст оперированных пациентов составил 35,9 лет, при этом мужского пола — 45 (62,5%), женщин — 27 (37,5%). С повреждением шейного отдела позвоночника было 24 (33,3%) пациента, грудного отдела — 13 (18,0%), поясничного отдела — 35 (48,7%).

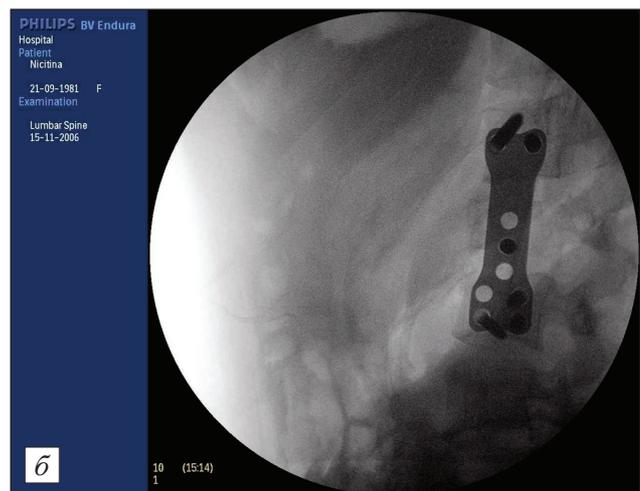
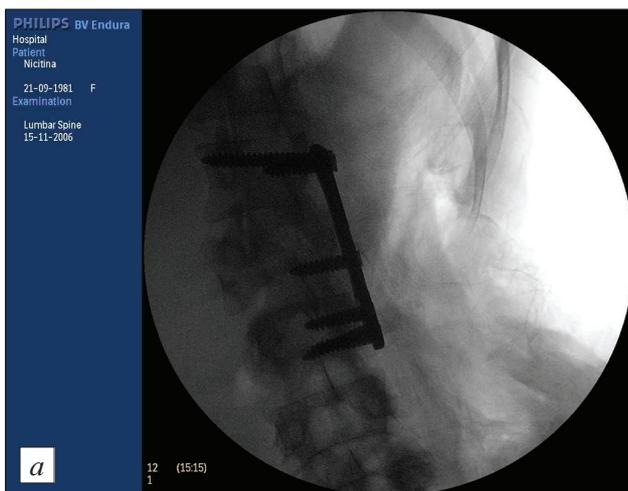


Рис. 3. Рентгенограмма во время операции того же пациента. Выполнена передняя декомпрессия дурального мешка, восстановление передней опорной колонны — корпородез с фиксирующей титановой пластиной. Математическое моделирование данной ситуации показало распределение нагрузок на опорные столбы близко к норме.

а — прямая проекция; б — боковая проекция.

При математическом исследовании было выявлено, что клиновидная деформация среднего позвонка в трехпозвонковом комплексе обязательно приводит к появлению горизонтальных сил смещения в сторону позвоночного канала и увеличению угла кифоза. При оскольчатых формах повреждения тел с его клиновидной деформацией подобные повреждения приводят к смещению отломков в позвоночный канал, вызывая его стеноз со всеми вытекающими последствиями.

Таким образом, по данным математического моделирования, все переломы позвонков, сопровождаемые клиновидными деформациями тел, необходимо относить к нестабильным. Степень нестабильности тем выше, чем больше угол клиновидной деформации тела позвонка. Хирургическое лечение подобных повреждений должно быть направлено на устранение клиновидной деформации тела позвонка и укрепление опорных колонн.

Так, при компрессионных переломах (тип А) требуется устранение клиновидной деформации с одновременным укреплением передней опорной колонны, что достигается передним корпородезом аутокостью, дополняемым фиксирующей пластиной. На рис. 2 и 3 представлены нестабильный перелом типа А и вариант его хирургического лечения.

При компрессионных нестабильных переломах типа В имеет место разрушение передних, средних и задних опорных столбов. Задние отделы тела внедряются в позвоночный канал, вызывая его стеноз и сдавление дурального мешка. На рис. 4 представлены нестабильный перелом (тип В) поясничного отдела позвоночника и вариант его лечения с математическим моделированием распределения нагрузок на опорные колонны.

Выводы. 1. Выбор хирургического лечения нестабильных повреждений позвоночника зависит от уровня поражения, типа нестабильности, степени стеноза позвоночного канала.

А



Б



Рис. 4. Рентгенограммы пациента со сгибательно-люксационным переломом тела L_{II} (тип В1.2.3., по [7]). Разрушены передний и средний столбы и задний столбы. Задние отделы тела внедряются в позвоночный канал, вызывая его стеноз и сдавление дурального мешка.

А — до операции; Б — после операции переднего корпородеза аутокостью и фиксирующей передней пластиной, установлена бисегментарная транспедикулярная система.

а — прямая проекция; б — боковая проекция.

2. При повреждении переднего опорного комплекса шейного отдела позвоночника рекомендованы передняя декомпрессия и корпородез. В случае отсутствия как такого повреждения, так и при условии стеноза позвоночного канала показан задний спондилодез или дистракционно-иммобилизационное лечение.

3. При повреждениях переднего опорного комплекса в груднопоясничном отделе достаточным

решением является транспедикулярная моно- или бисегментарная стабилизация. При повреждении переднего и среднего опорных комплексов оптимальной является передняя и задняя жесткая стабилизация.

4. При повреждении всех трех опорных комплексов показаны передняя и задняя стабилизации с костной аутоаллопластикой и транспедикулярной бисегментарной стабилизацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Громов А.П. Биомеханика травмы.—М.: Медицина, 1979.—С. 179–210.
2. Орлов С.В., Бобарыкин Н.Д., Латышев К.С. Математическая модель стабильности трехпозвоноквого комплекса // Математическое моделирование.—2006.—№ 10.—С. 55–70.
3. Denis F. Spinal instability as defined by the three column spine concept in acute spinal trauma // Clin. Orthop.—1984.—№ 189.—Р. 65.
4. Fergusson R., Tencer A., Woodard P., Allen A. Biomechanical comparison of spinal fracture models and the stabilizing effects of posterior instrumentations // Spine.—1988.—№ 13.—Р. 453.
5. Reno L. Surgery of spine.—Berlin–Heidelberg: Springer Verlag, 1983.—С. 55–58.

6. Hafer T.R., Felmly W.T., O'Brien M. Thoracic and Lumbar Fractures: Diagnosis and Management / Spinal Surgery J.B.Lippincott Company Philadelphia.—1991.—Vol. 2.—Р. 857–910.
7. Ulrich A., Wagner U., Schidt O.u.a. Atlas der Pedikelschraubenimplantate.—Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1998.—С. 1–2.

Поступила в редакцию 06.03.2008 г.

S.V.Orlov, A.Yu.Kanykin, V.P.Moskalev,
V.V.Shchedrenok, R.L.Sedov

MATHEMATICAL CALCULATION OF STRENGTH OF THE VERTEBRAL COLUMN IN SURGICAL TREATMENT OF UNSTABLE FRACTURES OF THE SPINE

A mathematical model of a three-vertebra complex was developed in order to make an exact calculation of loss of supporting ability of the vertebral column in trauma. Mathematical description of the dynamic processes was based on Lagrange differential equation of the second order. The degree of compression and instability of the three-vertebra complex, established using mathematical modeling, determines the decision on the surgical treatment and might be considered as a prognostic criterion of the course of the compression trauma of the spine. The method of mathematical modeling of supporting ability of the vertebral column was used in 72 patients.