

© Группа авторов, 2002

Применение математического моделирования для определения различных патологических состояний позвоночника по данным ортоспондилограммы

А.Ю. Голдырев*, О.В. Прохоров, М.Е. Рождественский***

Use of mathematical modeling to reveal different pathologic conditions of the spine by orthospondylogram

A.Y. Goldyrev*, O.V. Prokhorov, M.E. Rozhdestvensky***

* Омская государственная медицинская академия (ректор – д.м.н., профессор А.И. Новиков);

** Омский филиал института математики им. С.Л. Соболева СОРАН (директор – д.ф.-м.н., профессор В.А. Топчий), г. Омск, Россия

Авторы предлагают модель регрессии индекса дисплазии для улучшения дифференциальной диагностики фронтальных нарушений осанки и различных по этиологии сколиозов.

Ключевые слова: сколиоз, математическая модель, индекс дисплазии, дифференциальная диагностика,

The authors propose a model of dysplasia index regression for improvement of differential diagnostics of posture frontal disorders and scoliosis of different etiologies.

Keywords: scoliosis, mathematical model, dysplasia index, differential diagnostics.

ВВЕДЕНИЕ

Количество детей, страдающих фронтальными нарушениями осанки, в последнее время достигает 30% всего детского населения [1]. Причины формирования патологических фронтальных искривлений позвоночника разнообразны. Основными из них являются: доказанная дисплазия соединительной ткани (диспластические сколиозы) [2]; нейрогенные сколиозы на фоне синдрома периферической цервикальной недостаточности (субкомпенсированное нару-

шение кровообращения в вертебробазилярном бассейне вследствие родовой травмы) [1]; сколиозы на фоне генетических заболеваний (синдром Марфана, Элерса-Данло и др.) [3]; сколиозы на фоне остаточных проявлений полиомиелита, сирингомиелии, нейрофиброматоза; сколиозы как вариант осложнения детского церебрального паралича; сколиозы на фоне обширных ожогов грудной клетки; рахитические, статические и др. [4].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В современных условиях практически ни одно обследование позвоночника не считается заключенным без углубленного изучения рентгенологической картины [5]. Окончательный диагноз сколиоза возможен лишь тогда, когда клинические данные подтверждаются рентгенологическими исследованиями. В настоящее время в практике ортопедии (вертебрологии) наиболее распространены два графических метода анализа спондилограмм: метод Фергюсона и метод Кобба, являющиеся неточными, так как пациент обследуется в нелимитируемом положении, что допускает погрешность повторных исследований. Кроме того, оба метода не отражают пространственную ориентацию каждого отдельного

позвонка и межпозвоночного диска, что препятствует дифференциальной диагностике. Методика В.А. Ишала, предложенная им в 1974 году, в нашей модификации (формализация критериев определения и введение новых параметров прямой специальной ортоспондилограммы (ОСГ), компьютерная обработка данных), предполагает определение суммы клиновидно деформированных тел позвонков и межпозвоночных дисков в градусах, подсчитанных по разнице наклонов линий, проведенных через верхние и нижние площадки тел позвонков, к вертикальной тени отвеса-струны (рис. 1). Высчитываются торсиоротационные смещения позвонков на линию, определяющую направление нижней площадки

позвонка, опускаются три перпендикуляра - два от «талии» тела позвонка, третий - из середины тени основания остистого отростка. Разница в расстояниях между этими линиями показывает направление и степень торсио-ротационных смещений в миллиметрах. Исследования проводятся в положении больного стоя, в строго лимитируемых условиях, что дает возможность воспроизведимости позы больного.

С целью более точного определения разных по этиологии искривлений позвоночника при помощи данной методики появилась возможность дифференциальной диагностики диспластических и нелиспластических сколиозов.

Для этого была произведена экспертная оценка врачом-экспертом 100 больных, из них у 50 была выявлена легкая и умеренная степень выраженности дисплазии соединительной ткани (до 23-х баллов диагностического коэффициента (ДК) по В.М. Яковлеву, Г.И. Нечаевой [3]), при анализе ОСГ: наблюдались большие величины углов искривлений от 16 до 23°, величины максимальной торсии более 8 мм, и соотношение клиновидно-деформированных тел к клиновидно-деформированным дискам всегда было в пользу первых; во 2-ой группе у 50 больных с нарушениями осанки и сколиозом клинически выявлены наиболее часто встречающиеся недиплазтические сколиозы: до 18 баллов ДК у каждого больного, на ОСГ величина углов не превышала в среднем 15°, максимальная величина торсио-ротационных смещений не превышала в

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью диагностики неясных случаев, где врач не может клинически и инструментально (по ОСГ) однозначно отнести пациента к той или иной группе, а также для возможности определения существующей тенденции развития деформации позвоночника в зависимости от его этиологии, необходимо создание соответствующей (адекватной) математической модели.

В качестве таковой предложена статистическая модель, получаемая использованием средств множественного регрессионного и корреляционного анализа данных. Регрессия предлагается для вычисления индекса дисплазии, характеризующего текущую степень диспластических проявлений, и дифференциальной диагностики диспластических и недиспластических сколиозов. Она же дает возможность прогноза развития заболевания. Для хранения, обработки и анализа ОСГ был разработан компьютерный пакет средств для OS Windows, включающий в себя как информационный банк данных ОСГ, так и средства статистического анализа данных, экспертную систему.

Проведен анализ линейной корреляции зависимости исследуемых существенных параметров

среднем 8 мм, а соотношение клиновидности в большинстве случаев имело тенденцию к преобладанию клиновидно-деформированных дисков.

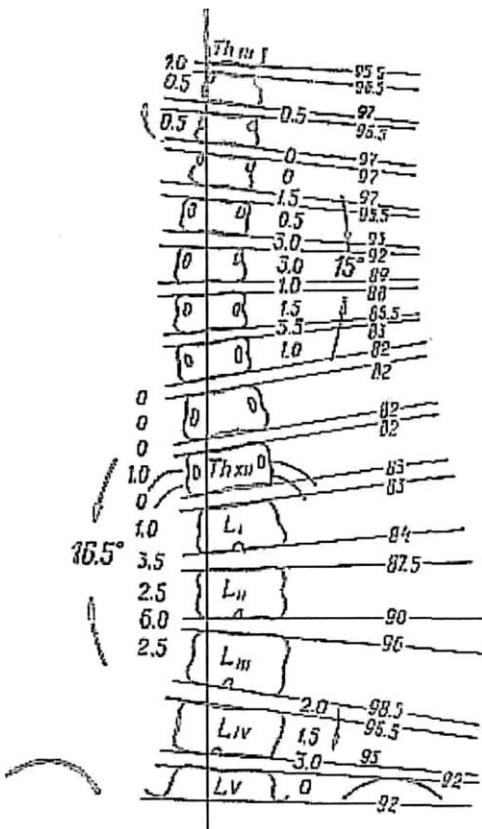


Рис. 1 Методика графического анализа ОСГ по В.А. Ишалу.

ров ОСГ и диагноза. Для возможности проведения корреляционного анализа в качестве формального выражения диагноза (не дисплазия, неяркая дисплазия, яркая дисплазия) были приведены в соответствие следующие интуитивные численные уровни индекса дисплазии (1, 2, 3). Из исследуемых факторов при помощи парного корреляционного линейного анализа были определены 3 наиболее значимых параметра ОСГ (таблица 1).

Таблица 1.

Фактор/параметр ОСГ	Значение парного коэффициента корреляции	P
Максимальный угол	0,602626	0,001
Tп/мпд в максимальном угле	0,406276	0,001
Максимальная торсия	0,203857	0,05

Примечание: ТП/МПД - соотношение клиновидности тел к клиновидности дисков позвонка.

В соответствии с этими оценками были матричным методом построены 2 линейных уравнения

нения множественной регрессии [6]: первое с учетом всех 3-х параметров (максимальный угол деформации, торсия, соотношение клиновидности тел и дисков (ТП/МПД)) и второе – без учета торсии. Необходимость определения последнего обусловлена тем, что определение максимальной торсии не всегда возможно из-за динамической смазанности изображения на снимке.

$$\begin{aligned}y_1 &= b_{01} + b_{11} \cdot x_1 + b_{21} \cdot x_2 + b_{31} \cdot x_3 \text{ (три параметра);} \\y_2 &= b_{02} + b_{12} \cdot x_1 + b_{22} \cdot x_2 \text{ (2 параметра без торсии).}\end{aligned}$$

С учетом построенных уравнений регрессии и для проверки их адекватности эмпирическим данным были определены их множественные коэффициенты корреляции по формуле:

$$R = \sqrt{1 - \bar{S}_{ocm}^2 / \bar{S}_y^2},$$

где \bar{S}_{ocm}^2 - остаточная дисперсия, \bar{S}_y^2 - дисперсия среднего.

Стоит обратить внимание на то, что значение вычисляемого коэффициента корреляции напрямую зависит от соотношения между возможными численными представлениями индекса дисплазии - множеством возможных опытных значений индекса (дисплазия = 1, неяркая дисплазия = 2, яркая дисплазия = 3), неоднозначно определяемых в численной форме (записанных в языковой). Так, первоначально эти значения были определены случайным образом (равномерно), исходя из предпосылок, что в данном случае (диагнозе) это значение должно быть больше или меньше, чем при других диагнозах. Это не определяет реальные пропорции между численными представлениями диагноза (индекса дисплазии), а определяет лишь их приоритет по отношению друг к другу.

Таким образом, можно предположить, что при выборе иного соотношения между возможными численными значениями индекса дисплазии, например (1, 2,5, 3) значение коэффициента корреляции изменится по сравнению с первоначально определенным значением коэффициента корреляции (при выборе 1, 2, 3). Так как это приведет к изменению вектора Y - вектора опытных численных значений индекса дисплазии и определению иного решения уравнения регрессии с иной степенью корреляции. Очевидно, чтобы определить численные соотношения между явлениями, выраженными в терминах естественного языка (в данном случае – диагноза), необходимо найти такую пропорцию элементов множества возможных опытных значений индекса дисплазии, при которой значение коэффициента корреляции было бы максимальным по сравнению со всеми иными возможными пропорциями.

Следовательно, необходимо определение максимума функции $R(Y)$, где R -коэффициент корреляции множественного уравнения регрес-

сии, а Y - вектор опытных значений функции отклика, составленный из элементов множества значений индекса дисплазии.

Максимум функции $R(Y)$ определялся методом перебора: зафиксировав граничные значения (не дисплазия и яркая дисплазия) как (1 и 3), варьировали промежуточное значение (неяркая дисплазия) индекса дисплазии в пределах от 1-го до 3-х с шагом в одну сотую. Производилась корректировка значений вектора Y в соответствии с новым численным значением неяркой дисплазии. Находились решения уравнений множественной регрессии, вычислялось суммарное значение коэффициентов множественной корреляции для уравнений с учетом и без учета торсии – $R_1(Y) + R_2(Y)$.

Выбор именно такого критерия оптимизации (сумма коэффициентов корреляции) обусловлен необходимостью единой шкалы индекса дисплазии для обеих методик, что позволяло бы сопоставлять индексы дисплазии, определенные как с учетом, так и без учета торсии, что вызвано не всегда должным качеством рентгеновских снимков.

После оптимизации (максимизации) величины суммы коэффициентов множественной корреляции этих регрессионных уравнений численное значение диагноза, соответствующее неяркой дисплазии, было определено как 1,74 вместо 2-х, при этом значении сумма коэффициентов множественной корреляции максимальна (таблица 2).

Таблица 2.
Множественная корреляция параметров ОСГ
и диагноза

Уравнение	Значение коэффициента корреляции множественного уравнения регрессии	P
3-х факторное	0,777268	0,001
2-х факторное	0,728285	0,001

Соответственно уравнения регрессии были найдены как:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0,589447 + 0,045533 \cdot x_1 + 1,263477 \cdot x_2; \\y_2 &= 0,568427 + 0,055944 \cdot x_1 + 1,303155 \cdot x_2 - 0,027296 \cdot x_3,\end{aligned}$$

где x_1 - значение максимального угла ОСГ, x_2 - ТП/МПД в максимальном угле, x_3 - максимальной торсии.

Методика расчета индекса дисплазии:

- На ОСГ определяются 3 параметра:
 - величина максимального угла кривизны (в градусах);
 - соотношение клиновидности в максимальной кривизне по формуле

$$\text{соотношение клиновидности} = \frac{|TPI|}{|TPI| - |MID|}$$

(модуль величины искривления тел позвонков (ТП), деленный на сумму модуля величины искривления тел позвонков (ТП) и модуля величи-

ны искривления межпозвоночных дисков (МПД));

в) величина максимальной торсии (в мм).

2. Значения параметров (величина максимального угла, соотношение клиновидности, величина максимальной торсии) подставляются в уравнения y_1, y_2 как x_1, x_2, x_3 соответственно.

3. Трактовка результата, значения индекса дисплазии:

В силу линейного характера установленной зависимости можно предложить следующую трактовку:

а) индекс дисплазии < 1

диагноз – не дисплазия, условная норма.

б) $1 \leq$ индекс дисплазии $< 1,74$ (диагноз – между не дисплазией и неяркой дисплазией)

В этом интервале диагноз определяется следующими вероятностными характеристиками: вероятность диагноза неяркая дисплазия –

$$p_1 = \frac{x-1}{1,74-1} = \frac{x-1}{0,74},$$

вероятность диагноза не дисплазия – $q_1=1-p_1$,

где x – значение индекса дисплазии;

в) $1,74 \leq$ индекс дисплазии < 3 (диагноз – между неяркой дисплазией и яркой дисплазией).

В этом интервале диагноз определяется следующими вероятностными характеристиками: вероятность диагноза яркая дисплазия –

$$p_2 = \frac{x-1,74}{3-1,74} = \frac{x-1,74}{1,26};$$

вероятность диагноза не дисплазия – $q_2=1-p_2$,

где x – значение индекса дисплазии;

г) индекс дисплазии ≥ 3

диагноз - очень яркая дисплазия;

Таким образом, при значении индекса дисплазии менее 1,37 более вероятен диагноз – не дисплазия, от 1,37 до 2,37 – неяркая дисплазия, более 2,37 – яркая дисплазия, (вероятность рассчитывается по формулам, указанным выше).

Пример 1.

Девочка О., 12 лет. Диагноз: левосторонний грудо-поясничный недиспластический (нейрогенный) сколиоз II степени.

Данные ОСГ:

наблюдается максимальная грудопоясничная кривизна от L_4 до D_{11} -12° , качественный состав – клиновидность тел - 2° , клиновидность дисков

-10° , максимальная торсия - 6 мм.

Индекс дисплазии по 3-х факторному уравнению = 1,22, что соответствует недиспластическому сколиозу. По 2-х факторному уравнению (без учета торсии) = 1,33.

Пример 2.

Девочка Р., 13 лет. Диагноз: правосторонний грудопоясничный диспластический сколиоз II степени.

Данные ОСГ:

наблюдается максимальная правосторонняя грудопоясничная кривизна -11° , качественный состав - клиновидность тел - 9° , клиновидность дисков - 2° , максимальная торсия - 7 мм.

Индекс дисплазии по 3-х факторному уравнению = 2,03, что соответствует диспластическому сколиозу с неярко выраженной дисплазией соединительной ткани. По 2-х факторному уравнению (без учета торсии) = 2,10.

Пример 3.

Мальчик Ж., 11 лет. Диагноз: левосторонний нижнегрудной диспластический сколиоз II степени.

Данные ОСГ:

наблюдается максимальная левосторонняя грудная кривизна – 20° , качественный состав – клиновидность тел – 18° , клиновидность дисков – 2° , максимальная торсия – 9 мм.

Индекс дисплазии по 3-х факторному уравнению = 2,6, что соответствует диспластическому сколиозу с ярко выраженной дисплазией соединительной ткани. По 2-х факторному уравнению (без учета торсии) = 2,62.

Пример 4.

Девочка К., 14 лет. Диагноз: левосторонний грудопоясничный сколиоз II-III степени.

Данные ОСГ:

наблюдается максимальная левосторонняя грудопоясничная кривизна – 30° , качественный состав – клиновидность тел – 28° , клиновидность дисков – 2° , максимальная торсия – 10 мм.

Индекс дисплазии по 3-х факторному уравнению = 3,16, что соответствует диспластическому сколиозу с очень яркой дисплазией соединительной ткани. По 2-х факторному уравнению (без учета торсии) = 3,11.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для оптимизации дифференциальной диагностики диспластических и других по этиологии сколиозов построена статистическая модель, использующая множественную линейную регрессию.

2. С высокой степенью вероятности по индексу дисплазии можно предполагать как ми-

нимум 4 варианта диагноза: не дисплазия, неяркая, яркая, очень яркая дисплазия.

3. Результаты исследования предоставляют возможности анализа, прогноза и выбора методов лечения различных по первопричине патологических состояний позвоночника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ратнер А.Ю. Поздние осложнения родовых повреждений нервной системы. - Казань, 1990. - С. 20 - 34.
2. Казъмин А.И. и др. Сколиоз / А.И. Казъмин, И.И. Кон, В.Е. Беленький. - М.: Медицина, 1981. - 272 с.
3. Яковлев В.М., Нечаева Г.И. Кардио-респираторные синдромы при дисплазии соединительной ткани. - Омск, 1994. - С. 186 – 189.
4. Шулутко Л.И. Боковое искривление позвоночника у детей. - Казань: Татарское книжное изд-во, 1963. – 102 с.
5. Голдырев А.Ю., Ишал В.А., Рождественский М.Е. Физиология асимметрии, фронтальные нарушения осанки, сколиоз и скolioтическая болезнь // Вестник новых медицинских технологий. - 2000. - Т. 7, № 1. - С. 88 -90.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М: Высшая школа, 1988. – 239 с.

Рукопись поступила 12.07.02.

Предлагаем вашему вниманию

Шевцов В.И., Макушин В.Д., Аранович А.М., Чегуров О.К.



**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ВРОЖДЕННЫХ АНОМАЛИЙ
РАЗВИТИЯ БЕРЦОВЫХ КОСТЕЙ**

Курган, 1998 г. – 323 с., табл. 15, ил. 209, библиогр. назв. 201

Монография посвящена проблеме лечения детей с врождённой эктромелией берцовых костей. В книге обобщён опыт лечения больных с применением методик чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова в различных его рациональных компоновках. Приведены основы биомеханического моделирования остеосинтеза при некоторых клинических ситуациях. Описываются уникальные, не имеющие аналогов в мировой медицине, тактико-технологические принципы реконструкции берцовых костей, повышающие опороспособность и функциональные возможности нижней конечности. Приведённые технические сведения помогут хирургу принимать оптимальные решения в реабилитации пациентов и подготовке конечности к рациональному протезированию. Анализ возможных технологических ошибок и связанных с ними лечебных осложнений имеет большое значение для практикующего врача.

Представленные в книге исследования дают возможность клиницисту представить тяжесть развивающихся при пороке вторичных функциональных и анатомических расстройств.

Приведённые результаты лечения по методикам Российского научного центра «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова дают возможность оценить их эффективность в сравнении с традиционными хирургическими подходами в решении данной проблемы.

Книга иллюстрирована схемами остеосинтеза, клиническими примерами, способствующими усвоению представленного материала.

Монография рассчитана на широкий круг хирургов, ортопедов и педиатров.