

УДК 616.711-007.55-021.3-053.7-02-092

DOI: 10.17816/pmj36439-45

## ОТДЕЛЬНЫЕ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭТИОПАТОГЕНЕЗА ЮНОШЕСКОГО ИДИОПАТИЧЕСКОГО СКОЛИОЗА

*С.В. Муравьев\**, *В.Г. Черкасова*, *П.Н. Чайников*,*О.О. Мехоношина*, *М.А. Ковалев*, *М.О. Гуцин**Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, Россия*

## PARTICULAR NEUROPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF ETIOPATHOGENESIS OF JUVENILE IDIOPATHIC SCOLIOSIS

*S.V. Muravyov\**, *V.G. Cberkasova*, *P.N. Chaimikov*,*O.O. Mekhonoshina*, *M.A. Kovalev*, *M.O. Guschin**E.A. Vagner Perm State Medical University, Russian Federation*

**Цель.** Изучить данные математической модели несоответствия длины позвоночника и расчетной длины спинного мозга у подростков с юношеским идиопатическим сколиозом.

**Материалы и методы.** Представлены данные расчетного значения коэффициента несопряженности роста спинного мозга и позвоночника по данным компьютерной оптической топографии и транскраниальной магнитной стимуляции у 46 подростков, страдающих многоплоскостной деформацией позвоночника разной степени тяжести.

**Результаты.** Получены данные, свидетельствующие в пользу теории несопряженности роста спинного мозга и позвоночника. Показано, что рост спинного мозга – процесс, не зависящий от возраста пациента и длины позвоночного столба.

**Выводы.** Построена математическая 3D-модель связи тяжести многоплоскостной деформации, возраста и величины коэффициента несопряженности роста спинного мозга и позвоночника, которая может служить перспективным прогностическим инструментом в диагностике идиопатического сколиоза.

**Ключевые слова.** Идиопатический сколиоз, компьютерная оптическая топография, транскраниальная магнитная стимуляция, коэффициент несопряженности, 3D-модель.

**Aim.** To study the data of mathematical model of mismatch between the vertebral length and the spinal cord calculated length in adolescents with juvenile idiopathic scoliosis.

**Materials and methods.** The paper presents the data on the calculated value of spinal cord and vertebral growth mismatch coefficient according to computed optic tomography and transcranial magnetic stimulation data in 46 adolescents, suffering from multiplane vertebral deformity of different degree of severity.

**Results.** The obtained data confirm the theory of mismatch between the spinal cord and vertebral growth. It was shown that spinal cord growth is the process, which does not depend on patient's age and length of vertebral column.

© Муравьев С.В., Черкасова В.Г., Чайников П.Н., Мехоношина О.О., Ковалев М.А., Гуцин М.О., 2019

тел. +7 (952) 339 02 89

e-mail: sergey89.m@mail.ru

[Муравьев С.В. (\*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья; Черкасова В.Г. – доктор медицинских наук, заведующая кафедрой медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья; Чайников П.Н. – кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья; Мехоношина О.О. – студент; Ковалев М.А. – студент; Гуцин М.О. – студент].

**Conclusions.** There was constructed a mathematical 3D-model of link between the multiplane deformity severity, age and spinal cord and vertebral growth mismatch coefficient value, which can serve as a perceptive prognostic instrument in diagnosis of idiopathic scoliosis.

**Key words.** Idiopathic scoliosis, computed optic tomography, transcranial magnetic stimulation, mismatch coefficient, 3D-model.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время принято считать, что сколиоз – динамичный процесс с прогрессирующей клинической картиной, который характеризуется трехплоскостной деформацией позвоночного столба в сагиттальной, фронтальной и горизонтальной плоскостях [4, 7]. Более половины лиц детского и подросткового возраста имеют более или менее выраженную деформацию позвоночного столба [8, 9]. В большинстве наблюдений не удается выяснить причину развития сколиоза. В этом случае многоплоскостную деформацию позвоночного столба принято считать идиопатическим, то есть не имеющим явной причины, патологическим процессом. Считается, что идиопатический сколиоз развивается у практически здоровых детей и подростков в возрасте 10–15 лет (период пубертатного ростового спурта) [4].

На сегодняшний день существует ряд теорий развития идиопатического сколиоза: генетическая, гормональная и нейрогуморальная, мелатониновая, центральная, обменная, диспластическая, в том числе нейродиспластическая, теория мышечно-связочной недостаточности [1, 3, 4, 10, 12, 13]. Наибольший интерес заслуживает теория нарушения сопряженности роста спинного мозга и позвоночника [4]. Авторы теории (М.Г. Дудин с соавт., 2009, 2011) считают, что сколиоз представляет собой биомеханический компенсаторный процесс со стороны позвоночника в ответ на несоответствие его продольного роста рос-

ту спинного мозга. При избыточном росте позвоночника по сравнению с ростом спинного мозга развивается типичный идиопатический сколиоз, при недостаточном – атипичный [7]. Однако до сих пор не существует объективных фактов, обладающих практическим потенциалом, в подтверждение приведенной выше теории.

*Цель исследования* – изучить данные математической модели несоответствия длины позвоночника и расчетной длины спинного мозга у подростков с юношеским идиопатическим сколиозом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами были обследованы 46 подростков (28 девочек и 18 мальчиков) с разными формами многоплоскостной деформации позвоночника в возрасте от 11 до 15 лет (средний возраст  $13,33 \pm 0,94$  г.). На основании данных компьютерной оптической томографии (КомОТ, ООО «МЕТОС», г. Новосибирск, РФ) все испытуемые были включены в группы сравнения. Всем испытуемым помимо КомОТ была выполнена электронейромиография (ЭНМГ, НейроМВП-4/С, ООО «Нейрософт», г. Иваново, РФ) срединных и большеберцовых нервов, а также были получены *F*-волны при стимуляции указанных нервов в дистальных точках с обеих сторон. Пациентам всех групп сравнения была выполнена транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС, НейроМСД/2, ООО «Нейрософт», г. Иваново, РФ), определялась латентность корковых моторных ответов,

полученных при стимуляции соответствующих проекций двигательной коры головного мозга импульсным магнитным полем индуктивностью 2 Тл в отведении от короткой мышцы, отводящей первый палец кисти, и мышцы, отводящей первый палец стопы, с обеих сторон. Графическое 3D-моделирование проводили методом взвешенных наименьших квадратов в связи с гетероскедастичностью оцениваемой выборки показателя. Диагностические исследования выполнялись при отсутствии противопоказаний для их проведения.

Статистическая обработка и графическое моделирование осуществлялись при помощи программного пакета Statistica 8.0. Данные представлены в виде медианы ( $Me$ ), первого и третьего ( $Q_1$  и  $Q_3$  соответственно) квартилей. Оценка межгрупповых различий проводилась с использованием  $U$ -критерия Манна – Уитни, корреляции оценивались путем расчета коэффициента корреляции Спирмена ( $S_R$ ). Графическое 3D-моделирование проводили методом взвешенных наименьших квадратов в связи с гетероскедастичностью оцениваемой выборки показателя.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все данные настоящего исследования получены путем расчетов, произведенных в идеальных условиях, а именно:

1. На основании электронейромиографии срединного и большеберцового нервов исключен факт поражения периферической нервной системы на невральном и радикулярном уровнях.

2. Величина синаптической задержки на уровне синапса между аксоном гигантской пирамидной клетки и телом мотонейрона переднего рога спинного мозга приравнивалась к 1 мс [6].

3. Исключался факт грубого демиелинизирующего поражения на уровне кортикопинальных трактов.

4. Настоящие расчеты производились по окончанию процесса миелинизации пирамидных проводников у всех испытуемых [2].

Для определения степени несоответствия длины спинного мозга и позвоночника проведен ряд математических действий:

1. Рассчитано время центрального моторного проведения по минимальной латентности  $F$ -волны до сегментов спинного мозга CVIII–ThI и LIV–SI с обеих сторон ( $F$ -ВЦМП<sub>CVIII–ThI(S)</sub>,  $F$ -ВЦМП<sub>CVIII–ThI(D)</sub> и  $F$ -ВЦМП<sub>LIV–SI(S)</sub>,  $F$ -ВЦМП<sub>LIV–SI(D)</sub> соответственно) по формуле [6]:

$$F\text{-ВЦМП} = \text{латКВМО} - [0,5(\text{лат-}F_{\text{мин}} - \text{латМ} - 1 \text{ мс}) + \text{латМ}] \text{ (мс)},$$

где латКВМО – минимальная латентность коркового моторного ответа, максимального по амплитуде, полученного при стимуляции проекционной зоны моторной коры короткой мышцы, отводящей первый палец кисти, или мышцы, отводящей первый палец стопы, соответственно; лат- $F_{\text{мин}}$  – минимальная латентность  $F$ -волны при стимуляции срединного или большеберцового нерва в дистальной точке соответственно; латМ – латентность моторного ответа, полученная при стимуляции срединного или большеберцового нерва в дистальной точке соответственно; 1 мс – условное время, необходимое для деполяризации мотонейронов переднего рога (время синаптической задержки).

2. С учетом факта асимметрии  $F$ -ВЦМП до соответствующих сегментов спинного мозга у подростков с юношеским идиопатическим сколиозом [5] рассчитано среднее значение  $F$ -ВЦМП<sub>CVIII–ThI</sub> и  $F$ -ВЦМП<sub>LIV–SI</sub> по формулам:

$$F\text{-ВЦМП}_{\text{CVIII–ThI}} = 0,5 (F\text{-ВЦМП}_{\text{CVIII–ThI(S)}} + F\text{-ВЦМП}_{\text{CVIII–ThI(D)}}) \text{ (мс)};$$

$$F\text{-ВЦМП}_{\text{LIV-SI}} = 0,5 (F\text{-ВЦМП}_{\text{LIV-SI(S)}} + F\text{-ВЦМП}_{\text{LIV-SI(S)}}) \text{ (мс)}$$

3. Для расчета времени проведения по отрезку спинного мозга от сегментов CVIII–ThI до сегментов LIV–SI была рассчитана разница ( $F\text{-ВЦМП}$ ) между значениями  $F\text{-ВЦМП}_{\text{LIV-SI}}$  и  $F\text{-ВЦМП}_{\text{CVIII-ThI}}$  по формуле:

$$|F\text{-ВЦМП}| = F\text{-ВЦМП}_{\text{LIV-SI}} - F\text{-ВЦМП}_{\text{CVIII-ThI}} \text{ (мс)}$$

4. Для определения расчетной длины отрезка ( $l_{\text{см}}$ , м) спинного мозга от сегментов CVIII–ThI до сегментов LIV–SI было использовано значение средней скорости ( $V$ ) проведения по пирамидным проводникам, равное 0,05 м/мс [6]. Расчет производили по формуле:

$$l_{\text{см}} = V|F\text{-ВЦМП}| \text{ (м)}$$

5. Завершающим этапом расчетов стало определение коэффициента несопряженности (КН), рассчитанного по формуле:

$$\text{КН} = 0,001 \text{ LngSDL3D} / l_{\text{см}}$$

где LngSDL3D – длина линии (мм), соединяющей остистые отростки позвонков CVII–SI в трехмерном пространстве по данным КомОТ.

Таким образом, КН является интегративным показателем несоответствия длины

спинного мозга и позвоночника. Распределение значений КН у всех испытуемых представлено на рис. 1.

При сравнении значений КН во всех группах не выявлено достоверных межгрупповых различий (табл. 1).

При определении корреляционных связей между значениями степени тяжести многоплоскостной деформации, возрастом, величиной КН и LngSDL3D были выявлены достоверные значения коэффициентов корреляции Спирмена (табл. 2).

Полученные значения коэффициентов корреляции Спирмена свидетельствуют о достоверной взаимной положительной корреляционной связи между тяжестью многоплоскостной деформации, возрастом пациентов и значением LngSDL3D, что объясняется известным фактом прогрессирования сколиоза по мере роста и взросления ребенка [4]. Значения КН предсказуемо достоверно коррелируют со значениями  $l_{\text{см}}$ , что объясняется прямо пропорциональной связью этих показателей. Однако примечательно отсутствие достоверных корреляционных связей между значениями этих показателей и тяжестью многоплоскостной деформации, возрастом пациентов и значением LngSDL3D.

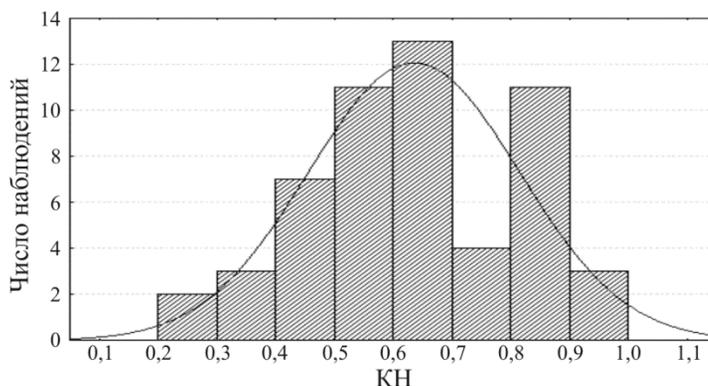


Рис. 1. Диаграмма распределения значений КН во всей совокупности испытуемых

Таблица 1

## Значения КН в группах сравнения

Группы	$Q_1$	$Me$	$Q_3$	$p$			
				контрольная группа	1-я группа	2-я группа	3-я группа
Все испытуемые	0,50	0,65	0,82	–	–	–	–
Контрольная	0,60	0,79	0,83	–	–	–	–
1-я	0,52	0,64	0,69	0,22	–	–	–
2-я	0,46	0,63	0,74	0,12	0,70	–	–
3-я	0,42	0,62	0,83	0,61	0,96	0,84	–
4-я	0,53	0,62	0,82	0,44	0,94	0,74	0,91

Примечание: здесь и далее  $p$  – уровень достоверности.

Таблица 2

**Значение коэффициента корреляции Спирмена ( $S_r$ )  
между показателями во всей совокупности испытуемых**

Показатель	Диагноз*	Возраст	LngSDL3D	$l_{cm}$
Возраст	<b>0,57**</b>	–	–	–
LngSDL3D	<b>0,28**</b>	<b>0,49**</b>	–	–
$l_{cm}$	–0,06	–0,01	0,12	–
КН	–0,12	–0,14	–0,19	<b>0,92**</b>

Примечание: \* – здесь и далее: для оценки корреляции показателя качественное значение было представлено в количественном эквиваленте: 0 – контрольная группа, 1 – 1-я группа, 2 – 2-я группа, 3 – 3-я группа, 4 – 4-я группа соответственно; \*\* – достоверные ( $p < 0,05$ ) значения коэффициента Спирмена ( $S_r$ ).

По причине неправильного распределения величин КН было выполнено графическое 3D-моделирование связи значения КН, возраста и степени тяжести многоплоскостной деформации позвоночного столба методом взвешенных наименьших квадратов (рис. 2).

Представленная модель отражает тенденции усугубления дефицита роста спинного мозга по отношению к длине позвоночного столба в возрасте 13–14 лет с ло-

гичным развитием клинической симптоматики идиопатического сколиоза. Примечательно, что наиболее близкие к единице значения КН обнаруживаются в возрасте 11 и 15 лет у пациентов с тяжелыми формами многоплоскостной деформации (сколиоз II–III степени) в результате вероятного завершения процесса биомеханической компенсации несоответствия роста спинного мозга и позвоночника.

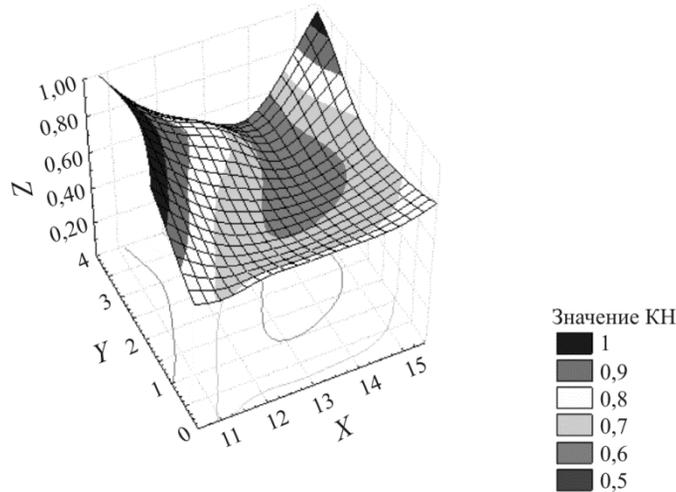


Рис. 2. Математическая 3D-модель связи значения КН, возраста и степени тяжести многоплоскостной деформации позвоночника методом взвешенных наименьших квадратов: ось X – возраст (лет); ось Y – диагноз\*; ось Z – КН

## ВЫВОДЫ

Представлены данные, свидетельствующие в пользу теории несопряженности роста спинного мозга и позвоночника. Показано, что рост спинного мозга – динамический процесс, не зависящий от возраста пациента и длины позвоночного столба. Коэффициент несопряженности роста спинного мозга и позвоночника является вероятным автономным критерием прогрессирования идиопатического сколиоза. Представленная математическая модель может служить прогностическим инструментом в диагностике идиопатического сколиоза и требует дальнейшей разработки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абальмасова Е.А., Коган А.В. О диспластических сколиозах. Ортопедия, травматология и протезирование 1965; 7: 3–6.
2. Бадялян Л.О. Детская неврология: учеб. пособие. М.: МЕДпресс-информ 2010; 608.
3. Голдырев А.Ю., Ишал В.А., Рождественский М.Е. Физиология асимметрии,

фронтальные нарушения осанки, сколиоз и сколиотическая болезнь. Вестник новых медицинских технологий 2000; 7 (1): 88.

4. Дудин М.Г., Пинчук Д.Ю. Идиопатический сколиоз: нейрофизиология, нейрохимия. СПб.: Человек 2013; 304.

5. Кравцова Е.Ю., Муравьев С.В., Фирсова М.Б. Состояние кортикоспинальных трактов при юношеском идиопатическом сколиозе (результаты диагностической транскраниальной магнитной стимуляции). Медицинский альманах 2014; 33 (3): 98–101.

6. Никитин С.С., Куренков А.Л. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы: руководство для врачей. М.: САШКО 2003; 738.

7. Пинчук Д.Ю., Дудин М.Г. Центральная нервная система и идиопатический сколиоз. СПб.: Человек 2011; 320.

8. Сарнадский В.Н. Компьютерная оптическая топография. Объективный мониторинг структурных сколиозов – неинвазивная альтернатива рентгену. Поликлиника 2008; 3: 12–17.

9. *Сарнадский В.Н., Садовой М.А., Фомичев Н.Г.* Способ компьютерной оптической топографии тела человека и устройство для его осуществления. Евразийский патент №000111 от 26.08.1996.
10. *Фищенко В.Я.* Этиология и патогенез сколиотической болезни. Тез. докл. науч.-практ. конф. детских травматологов и ортопедов. Псков 1991; 143–144.
11. *Чаклин В.Д., Абальмасова Е.А.* Сколиоз и кифозы. М.: Медицина 1973; 255.
12. *Huber J., Rogala P.* Neurophysiological aspects of the early diagnosis and assessment of progress and results in treatment of adolescent idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg. 11th International Philip Zorab Meeting "Aetiology and New Treatments for Adolescent Idiopathic Scoliosis". Programme and Abstracts. Oxford 2006; 55–56.
13. *Machida M., Dubousset J., Imamura Y.* Pathogenesis of idiopathic scoliosis: SEPs in chicken with experimentally induced scoliosis and in patients with idiopathic scoliosis. J Pediatr Orthop 1994; 14: 329–335.
14. *Ogilvie J.W.* Update on prognostic genetic testing in adolescent idiopathic scoliosis (AIS). J Pediatr Orthop 2011; 31: 46–48.

Материал поступил в редакцию 04.06.2019