

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СОСТОЯНИЯ СЕНСОМОТОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ВРОЖДЕННЫМ СКОЛИОЗОМ

Щурова Е.Н.¹, Сайфутдинов М.С.¹, Долганова Т.И.¹, Ахмедова М.А.¹

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: office@rncvto.ru

Целью данной работы являлось исследование особенностей состояния сенсомоторной системы детей и подростков с врожденным сколиозом на предоперационном этапе. Обследованы 24 пациента с врожденным сколиозом без интраспинальных аномалий в возрасте от 3 до 17 лет. В качестве контрольной группы было проведено обследование 202 здоровых детей в возрасте от 6 до 17 лет. С использованием глобальной и стимуляционной электронейромиографии осуществлялась оценка М-ответов, Н-рефлексов и глобальной ЭМГ. Анализ силы мышц нижних конечностей производился с применением динамометрических стенов. С помощью электрического эстезиометра было выполнено исследование температурно-болевого чувствительности в дерматомах Th₁-S₂. У пациентов с врожденным сколиозом были определены отличия порогов температурно-болевого чувствительности от величин здоровых сверстников: повышение порогов тепловой и болевой чувствительности, снижение порогов боли, отсутствие тепловой чувствительности. В группе подростков с врожденным сколиозом количество случаев нормальных порогов было в 2–3 раза снижено по сравнению с данными пациентов детского возраста. В отличие от вышеперечисленного, у пациентов с врожденным сколиозом с возрастом продолжался прирост силы мышц нижних конечностей и силовые характеристики мышц голени соответствовали показателям здоровых сверстников. Но моменты силы мышц бедра у детей и подростков с врожденным сколиозом были достоверно снижены. Кроме того, несмотря на возрастной прирост силы мышц, амплитуда их вызванной и произвольной активности существенно не изменялась, однако Н-рефлексы увеличивались. Таким образом, у детей и подростков с врожденным сколиозом определяется отсутствие однонаправленного характера изменений в чувствительной и двигательной сферах. В наибольшей степени негативные изменения регистрировались при исследовании температурно-болевого чувствительности, особенно в подростковом возрасте. В двигательной сфере остаются сохраненными и компенсированными сила мышц нижних конечностей, их вызванная и произвольная активность.

Ключевые слова: сенсомоторная система, дети, подростки, врожденный сколиоз, температурно-болевая чувствительность, сила мышц, вызванная и произвольная мышечная активность.

STUDYING THE PECULIAR CHARACTERISTICS OF THE SENSORIMOTOR SYSTEM CONDITION IN CHILDREN AND ADOLESCENTS WITH CONGENITAL SCOLIOSIS

Shchurova E.N.¹, Saifutdinov M.S.¹, Dolganova T.I.¹, Akhmedova M.A.¹

¹FSBI National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kurgan, e-mail: office@rncvto.ru

This work aimed at studying the peculiar characteristics of the sensorimotor system in children and adolescents with congenital scoliosis at the preoperative stage. The work is based on the results of studying 24 patients at the age of 3–17 years with congenital scoliosis without intraspinal anomalies. 202 normal children at the age from six to 17 years were examined as a control group. M-responses, H-reflexes and global EMG were assessed using global and stimulation electroneuromyography. The analysis of the lower limb muscle strength was made using dynamometric stands. Thermoesthesia-and-algesthesia was investigated in Th₁-S₂ dermatomes using an electrical esthesiometer. In patients with congenital scoliosis the differences of thermoesthesia-and-algesthesia thresholds from the values of the normal contemporaries were determined: an increase in thermoesthesia-and-algesthesia thresholds, a decrease in pain thresholds, thermal sensitivity absence. The number of the cases of normal thresholds in the group of adolescents with congenital scoliosis was 2–3-fold reduced comparing with the data of the pediatric patients. In contrast to the mentioned above, the lower limb muscle strength continued to increase with age in patients with congenital scoliosis, and the strength characteristics of the leg muscles corresponded to the values of the normal contemporaries. Though the moments of femoral muscle strength in children and adolescents with congenital scoliosis were reduced significantly. In addition, despite the age-related increase in muscle strength, the amplitude of their evoked and voluntary activity did not change significantly. However, H-reflexes increased. Thus, the absence of unidirectional character of the changes in the sensitive and motor spheres is determined in children and adolescents with congenital scoliosis. The most negative changes were recorded when studying thermoesthesia-and-algesthesia, especially in adolescence. The strength characteristics

of the lower limb muscles, their evoked and voluntary activity remain preserved and compensated in the motor sphere.

Keywords: the sensorimotor system, children, adolescents, congenital scoliosis, thermoesthesia-and-algesthesia, muscle strength, evoked and voluntary muscle activity.

Врожденный сколиоз – это боковое искривление позвоночника, возникающее в результате имеющихся при рождении аномалий позвоночника (полупозвонков, блока позвонков, клиновидных и бабочкообразных позвонков и др.), оно составляет 10% от всех сколиотических деформаций детей и подростков [1]. Распространенность врожденных аномалий позвоночника составляет 0,5–1 на 1000 новорожденных [2, 3]. Пороки позвонков развиваются вследствие нарушений формирования или сегментации, которые возникают в течение первых 6 недель эмбриогенеза в результате влияния генетических или экологических повреждающих факторов [3].

Пациенты с врожденным сколиозом часто имеют другие связанные с ним аномалии (ребер, сердечно-сосудистой, легочной, выделительной, нервной систем) [4–6]. По данным разных авторов, распространенность аномалий, непосредственно влияющих на состояние нервной системы, колеблется от 5% до 71% [4, 7, 8]. Приблизительно у 4–36% пациентов с врожденным сколиозом определяется неврологический дефицит [9–11]. Однако неврологические нарушения, такие как слабость мышц нижних конечностей, могут присутствовать и у 6–17% пациентов без интраспинальных аномалий [7]. S. Rajasekaran et al. считают, что это может быть обусловлено растяжением спинного мозга и корешков у этой категории пациентов [8].

В литературе неоднократно подчеркивалась необходимость проведения детального неврологического обследования больных с врожденным сколиозом, которое должно включать оценку двигательных и сенсорных функций [4]. Высокий риск возникновения неврологического дефицита во время оперативного лечения требует тщательного обследования перед операцией и интраоперационного нейрофизиологического мониторинга [4, 11].

Однако инструментальным исследованиям чувствительной и двигательной сфер у детей и подростков с врожденным сколиозом уделено недостаточно внимания [11, 12].

Цель работы – исследовать особенности состояния сенсомоторной системы детей и подростков с врожденным сколиозом без интраспинальных аномалий на предоперационном этапе.

Материал и методы исследования

Были обследованы 24 пациента с врожденным сколиозом в возрасте от 3 до 17 лет ($11,0 \pm 0,9$ года) и 202 здоровых ребенка в возрасте от 6 до 17 лет ($11,0 \pm 2,1$ года). В группе

пациентов было 15 мальчиков и 9 девочек, в группе здоровых детей – 132 мальчиков и 70 девочек.

Пациенты с врожденным сколиозом имели ряд аномалий развития позвоночника: нарушение сегментации и развития позвонков, наличие полупозвонка, сверхкомплектного позвонка, блока позвонков, клиновидных и бабочкообразных позвонков и др. У 16 пациентов аномалии располагались в грудном отделе (позвонки Th4–Th10), у 8 – в грудопоясничном (позвонки Th11–L4). Угол основной дуги деформации находился в диапазоне от 24 до 87 градусов ($49,3 \pm 4,3$ градуса), компенсаторной – $46,4 \pm 5,6$ градусов (от 15 до 80 градусов, $n=11$). Обследованные пациенты не имели внутриспинальных аномалий. Тем не менее были зарегистрированы двигательные нарушения у 4 (16,7%) больных: правый гемипарез (1), нижний вялый монопарез справа (1), нижний спастический парапарез (2). У 2 (8,3%) пациентов из этой группы наблюдались нарушения функции тазовых органов по типу недержания мочи.

Исследование чувствительной сферы заключалось в оценке температурно-болевого чувствительности в дерматомах Th1–S2 на правой и левой стороне. Температурно-болевого чувствительность исследовали с помощью электрического эстеziометра с одновременной регистрацией температуры кожи («Терmostar» фирмы Nihon Kohden, Япония). Площадь контакта термодатчика составляла 1 см^2 , диапазон изменения температуры колебался от 10^0 до 50^0 , скорость увеличения температуры была $2^0/\text{мин}$.

Анализ двигательной сферы осуществлялся посредством оценки амплитуды моторных ответов (М-ответов), Н-рефлексов, глобальной электромиограммы (ЭМГ, тест-максимальное произвольное напряжение) мышц нижних конечностей. В работе был использован комплекс взаимодополняющих методов глобальной и стимуляционной электронейромиографии (цифровой электромиографической системы Viking EDX, Natus Medical Incorporated, США). В качестве индикаторов, отражающих функциональное состояние кортикоспинального тракта, использовались поверхностно расположенные мышцы нижних конечностей, доступные для чрескожного возбуждения через соответствующий двигательный нерв супрамаксимальным электрическим импульсом длительностью 1 миллисекунда. М-ответы регистрировались униполярно («belly-tendon») слева и справа в отведениях от *m. tibialis anterior* (L_V), *m. gastrocnemius* (с.1.) (S₁), *m. rectus femoris* (L_{IV}), *m. extensor digitorum brevis* (L_V), *m. flexor digitorum brevis* (S₁). Дополнительно перечисленные мышцы-индикаторы позволяли оценить состояние соответствующих спинномозговых корешков.

Также было произведено исследование силы мышц нижних конечностей, которое осуществлялось с помощью динамометрических стандов для бедра и голени [13, 14]. Анализ

функционального состояния мышц заключался в оценке сначала абсолютного максимального момента силы (H^*m), а потом расчета относительного (с учетом массы тела) момента силы мышц нижних конечностей (H^*m/kg).

Данное исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации (в редакции 2013 г.). Родители детей или их законные представители подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических исследований и публикацию данных без идентификации личности.

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью программы Microsoft Excel 2010 и надстройки AtteStat. Рассчитывали среднее арифметическое значение показателей (M), стандартную ошибку средней (m). Для ЭМГ-параметров определяли коэффициент вариации (KV) как выраженное в процентах отношение стандартного отклонения к среднему значению. При нормальном распределении использовали t-критерий Стьюдента, в остальных случаях применяли непараметрические критерии Wilcoxon и Mann–Whitney. Различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Врожденная деформация позвоночника, как правило, проявляется в течение первых нескольких лет жизни, но не может полностью развиваться до периода быстрого роста скелета, сопровождающего половое созревание [15], поэтому, чтобы отследить особенности проявлений изменений в чувствительной и двигательной сферах на разных этапах развития искривления позвоночника, обследуемые пациенты и здоровые сверстники были разделены на две группы: дети и подростки (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика здоровых обследуемых и пациентов с врожденным сколиозом ($M \pm m$)

Показатели	Здоровые обследуемые		Пациенты с врожденным сколиозом	
	Дети (n=32)	Подростки (n=170)	Дети (группа I) n=10	Подростки (группа II) n=14
Возраст (годы)	6-9 (7,2±0,6)	11-17 (14,5±1,5)	3-9 (6,8±0,7)	11-17 (14,0±0,6)
Пол	♂ – 18 ♀ – 14	♂ – 114 ♀ – 56	♂ – 6 ♀ – 4	♂ – 8 ♀ – 6
Рост (см)	125,0±3,4 (94–152)	161,3±1,0 (137–182)	116,1±8,9 (95–141)	150,0±3,0*# (131–164) (*p=8,6E-07, # p=0,004)
Вес (кг)	25,8±2,6 (14–33)	55,0±1,1 (33–87)	21,8±4,6 (13–30)	46,1±2,2*# (37-60) (*p=2,9E-08 # p=0,004)
ИМТ (кг/м ²)	16,4±1,5 (14,0–19,1)	20,8±0,3 (15,4–28,0)	15,6±0,5 (13,7–18,8)	20,5±0,8* (16,4–27) (p=0,00004)
Величина угла	–	–	34,4±3,4	61,5±4,9*

основной дуги деформации (град.)			(24–55)	(40–81) (p=0,0002)
Величина угла компенсаторной дуги деформации (град.)	–	–	40 n=2	52,6±5,0 (35-80) n=9

Примечание: * – достоверность отличия от показателей группы детей с врожденным сколиозом, $p < 0,05$. # – отличие от показателей здоровых сверстников, $p < 0,05$.

В группе подростков величина основной дуги деформации была больше на 78,8% ($p=0,0002$), чем у пациентов в возрасте от 3 до 9 лет. В группе детей в 1 случае наблюдался нижний спастический парализ, у подростков в 3 случаях были определены: нижний монопарез справа, правосторонний гемипарез, нижний спастический парализ. При сравнении антропометрических показателей здоровых обследуемых и пациентов с врожденным сколиозом было определено, что показатели пациентов детского возраста достоверно не отличались от величин здоровых сверстников. В группе подростков с врожденным сколиозом рост и вес были достоверно меньше (на 7,1%, $p=0,004$ и 15%, $p=0,03$ соответственно), чем в норме. Их индекс массы тела достоверно не отличался от величин здоровых обследуемых.

В первой группе (дети) клинически не было определено нарушений чувствительности. Однако инструментальное исследование температурно-болевого чувствительности определило ряд отличий этого вида чувствительности от показателей нормы. Были определены повышение порогов тепловой чувствительности или ее отсутствие, повышение или снижение порогов болевой чувствительности. Частота встречаемости вышеперечисленных изменений представлена в таблице 2.

Нормальные пороги тепловой чувствительности в дерматомах Th₁–S₂ в среднем регистрируются в 21,5±3,4% случаев. Наименьшее количество нормальных порогов определялось в дерматомах с Th₈ по L₁ (от 0% до 15%).

Таблица 2

Частота встречаемости (%) нарушений температурно-болевого чувствительности в группе детей (возраст 3–9 лет) с врожденным сколиозом

Дерматомы	Тепловая чувствительность			Болевая чувствительность		
	Порог в норме (%)	Гипестезия (%)	Термоанестезия (%)	Порог в норме (%)	Гипестезия (%)	Гиперестезия (%)
Th ₁ (n=20)	55	15	30	45	0	55
Th ₂ (n=20)	50	15	35	40	10	55
Th ₃ (n=20)	25	40	35	30	30	40
Th ₄ (n=20)	15	35	50	15	40	45
Th ₅ (n=20)	25	35	40	20	40	40
Th ₆ (n=20)	15	45	40	30	40	30
Th ₇ (n=20)	20	40	40	35	40	25

Th ₈ (n=20)	5	50	45	45	40	15
Th ₉ (n=20)	5	35	55	45	40	15
Th ₁₀ (n=20)	15	35	50	45	40	15
Th ₁₁ (n=20)	0	55	45	55	45	0
Th ₁₂ (n=20)	6	61	33	55	45	0
L ₁ (n=20)	11	39	50	55	45	0
L ₂ (n=20)	22	39	39	33	45	22
L ₃ (n=20)	17	61	22	55	45	0
L ₄ (n=20)	27	45	27	33	39	17
L ₅ (n=20)	22	50	28	55	33	11
S ₁ (n=20)	44	28	28	27	33	40
S ₂ (n=20)	21	58	21	36	50	14
В среднем M±m	21,5±3,4	41,1±3,0	37,5±2,3	40,0±2,8	36,9±2,8	23,1±4,2

Следует заметить, что в этих дерматомах (с Th₈ по L₁) регистрировалось наибольшее количество случаев термоанестезии (45–55%). Гипестезия регистрировалась в среднем в 41,1% случаев по всей цепочке дерматомов Th₁–S₂ и выраженной локализации не имела.

Анализ порогов болевой чувствительности показал, что гипестезия в наибольшей степени представлена в дерматомах Th₄–L₃ – в 40–45% случаях. Также в 40% случаев (в среднем по всей цепочке дерматомов) пороги боли были в норме. Снижение порогов болевой чувствительности определялось в 23,1% случаев, и в наибольшей степени в дерматомах Th₁–Th₅ (40–55%). В дерматомах Th₁₁–L₁ и L₃ гиперестезия не определялась. Величины порогов тепловой чувствительности (табл. 3) были повышены на 3–8 градусов (в среднем на 5,3±0,4, p=1,1E-16), порогов боли – на 2,7–5,9 градуса (4,7±0,2, p=6,5E-07) относительно уровня нормы. Порог боли был снижен на 2,0–4,9 градуса (в среднем 3,2±0,2, p=1,9E-14).

Таблица 3

Показатели температурно-болевой чувствительности (градусы) у детей с врожденным сколиозом (возраст 3–9 лет) (M±m)

Дерматомы	Температура кожи	Тепловая чувствительность		Болевая чувствительность		
		Порог в норме	Гипестезия (%)	Порог в норме	Гипестезия (%)	Гиперестезия (%)
Th ₁ (n=20)	31,5±0,3	33,6±0,4	37,0±0,6*	41,0±0,3	–	38,0±0,4*
Th ₂ (n=20)	32,8±0,3	34,4±0,6	39,0±1,1*	41,5±0,3	44,5±0,2*	38,0±0,1*
Th ₃ (n=20)	33,0 ±0,3	33,0±0,4	38,9±0,2*	41,8±0,4	44,5±0,2*	37,3±0,4*
Th ₄ (n=20)	33,0±0,4	33,3±0,3	40,7±0,5*	41,0±0,7	45,3±0,3*	38,1±0,2
Th ₅ (n=20)	33,0±0,4	34,2±0,7	42,0±0,7*	41,0±0,5	46,6±0,3*	38,5±0,2
Th ₆ (n=20)	33,1±0,4	34,7±1,2	40,6±1,1*	41,3±0,5	46,5±1,2*	38,2±0,1
Th ₇ (n=20)	33,0±0,7	34,8±0,3	41,1±0,6*	41,1±0,5	46,6±0,2*	38,6±0,3
Th ₈ (n=20)	33,0±0,4	36, n=1	40,3±0,9*	41,5±0,3	46,4±0,3*	38,3±0,3
Th ₉ (n=20)	33,0±0,4	36,1±0,1	39,3±0,8*	41,0±0,3	45,8±0,3*	39,0±0,1

Th ₁₀ (n=20)	33,0±0,4	36,0±0,1	39,9±1,2*	41,0±0,1	46,3±0,6*	38,3±0,2
Th ₁₁ (n=20)	33,3±0,3	–	38,8±0,7*	41,0±0,3	46,0±0,4*	–
Th ₁₂ (n=20)	33,4±0,3	36, n=1	39,4±0,8 *	41,6±0,4	45,1±0,5*	–
L ₁ (n=20)	33,3±0,4	35, n=2	40,0±0,9*	41,5±0,3	46,0±0,5*	–
L ₂ (n=20)	32,4±0,4	33,5±1,2	39,6±1,0*	41,0±0,2	45,4±0,5*	37,0±1,1
L ₃ (n=20)	32,3±0,4	31,3±1,9	39,6±1,0*	41,0±0,4	46,2±0,5*	–
L ₄ (n=20)	32,0±0,4	34,0±1,1	40,8±0,9*	41,6±0,5	46,2±0,7*	36,7±1,5
L ₅ (n=20)	32,0±0,4	35,3±0,3	40,1±0,9*	41,8±0,4	47,0±0,6*	39,1±0,1
S ₁ (n=20)	30,3±0,5	34,9±0,3	41,8±1,0*	42,6±0,3	47,2±0,5*	39,0±0,1
S ₂ (n=20)	33,0±0,3	35,0±0,1	40,8±1,2*	41,0±0,6	46,9±0,6*	39,0±0,1
Средняя величина	32,7±0,4	34,5±0,3	39,9±0,3*	41,4±0,1	46,0±0,2*	38,2±0,2*

Примечание: * – достоверность отличия показателей от уровня нормы, p<0,05.

Во второй группе (подростки) инструментальный анализ температурно-болевого чувствительности показал, что количество случаев наличия нормальных порогов было значительно снижено, особенно по сравнению с данными первой группы (в 2–3 раза) (табл. 4).

При анализе тепловой чувствительности было определено, что в дерматомах Th₆–Th₇ нормальные пороги регистрировались только в 3,5% случаев, в дерматомах Th₈–S₂ они отсутствовали (табл. 4). Наибольшее количество случаев повышенных порогов тепла определялось в дерматомах с Th₇ по L₂ – 43–61% случаев. Термоанестезия чаще регистрировалась в дерматомах Th₆–S₁ (в 39–85% случаев).

Таблица 4

Частота встречаемости (%) нарушений температурно-болевого чувствительности в группе подростков (возраст 11–17 лет) с врожденным сколиозом

Дерматомы	Тепловая чувствительность			Болевая чувствительность		
	Порог в норме (%)	Гипестезия (%)	Термоанестезия (%)	Порог в норме (%)	Гипестезия (%)	Гиперестезия (%)
Th ₁ (n=28)	36	22	43	57	14	25
Th ₂ (n=28)	43	11	43	64	18	18
Th ₃ (n=28)	21	22	57	43	46	11
Th ₄ (n=28)	11	36	53	32	64	4
Th ₅ (n=28)	10	47	43	25	71	4
Th ₆ (n=28)	3,5	28,5	68	25	75	0
Th ₇ (n=28)	3,6	53,6	43	21	79	0
Th ₈ (n=28)	0	54	46	7	93	0
Th ₉ (n=28)	0	46	54	14	86	0
Th ₁₀ (n=28)	0	50	50	7	93	0
Th ₁₁ (n=28)	0	50	50	11	89	0
Th ₁₂ (n=28)	0	50	50	14	86	0
L ₁ (n=28)	0	61	39	11	89	0
L ₂ (n=28)	0	43	57	3,5	96,5	0
L ₃ (n=28)	0	39	61	3,5	96,5	0

L4 (n=28)	0	25	75	3,5	96,5 (1-отсутствует)	0
L5 (n=28)	0	29	71	0	100	0
S1 (n=28)	0	15	85	0	96,5 (1-отсутствует)	0
S2 (n=28)	0	46	54	4	96	0
В среднем M±m	6,8±3,0	38,3±3,3	55,0±3,0	18,2±4,3	78,2±6,0	3,3±1,6

Анализ порогов болевой чувствительности показал, что наименьшее количество случаев нормальных величин было определено в дерматомах с Th₈ по L₄ – 3,5–14%, а в дерматомах L₅ и S₁ они вообще отсутствовали (табл. 4). В этих же дерматомах (с Th₈ по S₁) было зарегистрировано наибольшее количество случаев с повышенными порогоми (86–100%). В двух случаях в дерматомах L₄ и S₁ не определялась болевая чувствительность (термоаналгезия). В отличие от показателей первой группы (дети), у подростков количество случаев сниженных порогов боли было минимально (в среднем 3,3±1,6%), а в дерматомах с Th₆ по S₂ они отсутствовали.

Величины порогов температурно-болевой чувствительности подростков соответствовали значениям первой группы (табл. 4 и 5). Значения порогов тепла (табл. 5) были повышены на 3–7 градусов (в среднем на 4,5±0,6, p=3,04E-10), порогов боли – на 2,8–6,7 градуса (4,7±0,3, p=2,5E-07) относительно уровня нормы. В дерматомах Th₁–Th₅ порог боли был снижен на 2,4–3,8 градуса (в среднем 3,1±0,3, p=0,001).

Таблица 5

Показатели температурно-болевой чувствительности (градусы) у подростков с врожденным сколиозом (возраст 11–17 лет) (M±m)

Дерматомы	Температура кожи	Тепловая чувствительность		Болевая чувствительность		
		Порог в норме	Гипестезия (%)	Порог в норме	Гипестезия (%)	Гиперестезия (%)
Th ₁ (n=28)	32,0±0,2	34,2±1,1	37,5±0,4*	41,3±0,32	44,8±0,8*	38,0±0,6*
Th ₂ (n=28)	33,2±0,2	35,2±0,6	38,1±0,1*	41,8±0,2	44,6±0,4*	38,0±0,6*
Th ₃ (n=28)	33,4 ±0,2	35,5±0,6	38,7±0,3*	41,8±0,3	45,1±0,2*	39,1±0,1*
Th ₄ (n=28)	33,6±0,2	35,3±0,9	39,4±0,5*	42,0±0,3	45,1±0,3*	39,0, n=1
Th ₅ (n=28)	33,6±0,2	35,7±0,7	40,2±0,6*	41,4±0,3	45,8±0,3*	39,0, n=1
Th ₆ (n=28)	33,7±0,2	36,0,n=1	41,1±0,9*	42,0±0,8	46,6±0,3*	–
Th ₇ (n=28)	33,7±0,2	35,0,n=1	41,4±0,6*	42,1±0,2	46,7±0,4*	–
Th ₈ (n=28)	33,2±0,2	–	41,7±0,6*	42,0±0,1	46,7±0,3*	–
Th ₉ (n=28)	33,7±0,2	–	41,2±0,7*	42,3±0,5	47,3±0,4*	–
Th ₁₀ (n=28)	33,3±0,2	–	41,7±0,7*	42,1±0,3	47,1±0,4*	–
Th ₁₁ (n=28)	33,2±0,2	–	41,4±0,8*	42,2±0,3	46,8±0,7*	–
Th ₁₂ (n=28)	33,4±0,2	–	42,3±0,7*	42,0±0,3	47,8±0,5*	–
L ₁ (n=28)	33,2±0,2	–	42,6±0,8*	42,0±0,3	48,2±0,4*	–

L ₂ (n=28)	32,5±0,2	–	43,0±0,9*	42,0,n=1	47,7±0,5*	–
L ₃ (n=28)	32,0±0,2	–	43,1±0,8*	42,0,n=1	47,3±0,5*	–
L ₄ (n=28)	32,1±0,2	–	42,2±0,9*	–	47,7±0,4*	–
L ₅ (n=28)	32,0±0,2	–	44,1±1,1*	–	48,7±0,4*	–
S ₁ (n=28)	30,7±0,1	–	41,0±1,1*	–	47,6±0,5*	–
S ₂ (n=28)	32,5±0,2	–	43,1±0,9*	41,0,n=1	47,6±0,5*	–
Средняя величина	32,9±0,2	35,3±0,2	41,3±0,4*	41,9±0,1	46,9±0,3*	38,6±0,3*

Примечание: * – достоверность отличия показателей от уровня нормы, p<0,05.

Следовательно, у подростков с врожденным сколиозом в дерматомах Th₆–S₂ регистрируются значительные нарушения температурно-болевой чувствительности – гипестезия тепловой чувствительности, гипестезия боли от горячего, термоанестезия, в двух случаях термоаналгезия.

Исследование силы мышц нижних конечностей у детей и подростков с врожденным сколиозом показало, что абсолютные и относительные моменты силы мышц бедра (разгибатели и сгибатели голени) достоверно меньше, чем у здоровых сверстников (табл. 6). В группе детей разгибатели голени имеют снижение абсолютного (на 44,4%, p<0,05) и относительного (на 26,4%, p<0,05) моментов силы по сравнению с показателями здоровых сверстников. Моменты силы сгибателей голени снижены на 44,4% (p<0,05) и 25,8% (p<0,05) соответственно.

Таблица 6

Показатели абсолютного (Н*м) и относительного (Н*м/кг) момента силы мышц нижних конечностей у здоровых детей и подростков и пациентов с врожденным сколиозом (M±m)

Группы мышц	Моменты силы	Дети (возраст 6–9 лет)		Подростки (возраст 11–17 лет)	
		Здоровые (n=32)	Пациенты (n=10)	Здоровые n=170	Пациенты n=14
Разгибатели голени	АМС	40,0±3,1	22,3±3,0*	94,6±4,0	60,0±7,5*
	ОМС	1,25±0,06	0,92±0,1*	1,78±0,06	1,35±0,16*
Сгибатели голени	АМС	31,1±3,3	17,3±1,9*	68,7±3,0	45,8±5,3*
	ОМС	0,97±0,08	0,72±0,08*	1,30±0,05	1,04±0,11*
Подшвенные сгибатели стопы	АМС	31,3±4,0	28,5±3,2	73,7±5,4	59,3±4,6*
	ОМС	1,22±0,14	1,19±0,10	1,4±0,10	1,37±0,10
Тыльные сгибатели стопы	АМС	13,2±1,21	10,3±1,1	30,4±2,6	30,4±3,5
	ОМС	0,52±0,06	0,44±0,05	0,56±0,06	0,68±0,07

Примечание: * – достоверность отличия показателей от величин здоровых сверстников, p<0,05. АМС – абсолютный момент силы, ОМС – относительный момент силы.

У подростков с врожденным сколиозом моменты силы мышц бедра в меньшей степени снижены относительно здоровых сверстников. Так, абсолютный и относительный моменты силы разгибателей голени снижены на 36,6% (p<0,05) и 24,2% (p<0,05)

соответственно. Показатели сгибателей голени уменьшены на 33,3% ($p<0,05$) и 20% ($p<0,05$) соответственно.

Анализ показателей тыльных сгибателей стопы показал, что в обеих исследуемых группах пациентов с врожденным сколиозом отсутствовали достоверные отличия от значений контрольной группы (табл. 6). Показатели силы подошвенных сгибателей стопы у детей достоверно не отличались от значений здоровых сверстников, в группе подростков абсолютный момент силы был снижен на 19,5% ($p<0,05$), хотя относительный момент достоверно не отличался от уровня нормы.

Исследование состояния нейромышечного аппарата у детей и подростков с врожденным сколиозом показало, что среднегрупповые значения амплитуды моторных ответов мышц нижних конечностей (табл. 7) не имеют статистически значимых различий ($p>0,05$), за исключением *m. extensor digitorum brevis* ($p=0,027$). Это объясняется тем, что формирование двигательных единиц (количество мышечных волокон, миелинизация нервных проводников, созревание нервно-мышечных синапсов) заканчивается в раннем детстве [16]. Поскольку амплитуда М-ответа на супрамаксимальное раздражение двигательного нерва отражает суммарную активацию двигательных единиц тестируемой мышцы, то данный параметр с возрастом должен изменяться незначительно. Его колебания будут отражать межиндивидуальную вариативность данного параметра в сравниваемых выборках. Этим же, вероятно, объясняется единственный случай статистически значимых различий данного параметра для *m. extensor digitorum brevis*, что подтверждается высокими значениями коэффициента вариации.

Таблица 7

Амплитуда М-ответов мышц нижних конечностей детей и подростков с врожденным сколиозом ($M\pm m$)

Мышцы	Дети (возраст 7–9 лет)				Подростки (возраст 11–17 лет)			
	n	$M\pm m$	Min-max	KV	n	$M\pm m$	Min-max	KV
<i>M. rectus femoris</i>	14	18,6±1,2	10,3-23	23,5	24	19,5±0,86	11,2-7,2	21,5
<i>M. tibialis anterior</i>	14	9,3±0,33	7,2-11,3	13,2	24	8,8±0,41	3,3-13,1	23,0
<i>M. extensor digitorum brevis</i>	12	5,3±0,60	2,4-10,3	39,6	22	7,5±0,75*	0-13,7	47,0
<i>M. flexor digitorum brevis</i>	12	17,6±2,2	4,1-28,5	43,3	23	16,7±2,15	0,02-2,5	61,9
<i>M. gastrocnemius lat.</i>	14	26,5±1,4	17,1-5,2	20,0	24	24,0±2,47	0,14-8,6	50,6

Примечание: KV – коэффициент вариации; * – достоверность отличия среднегрупповых значений ($p<0,05$).

Однако амплитуда Н-рефлекса икроножной мышцы в группе подростков с врожденным сколиозом была на 51% выше ($6,3\pm 0,8$ мВ; 0,2–12,1 мВ, $n=22$, $p=0,018$), чем у пациентов детского возраста ($2,8\pm 0,9$ мВ; 0,3–9,5 мВ; $n=12$).

Амплитуда ЭМГ при максимальном произвольном напряжении мышц нижних конечностей (табл. 8) в группе пациентов детского и подросткового возраста различается статистически не значимо ($p > 0,05$).

Таблица 8

Параметры электромиограммы мышц нижних конечностей при максимальном произвольном напряжении у детей и подростков с врожденным сколиозом ($M \pm m$)

Мышцы		Дети (возраст 7–9 лет)				Подростки (возраст 11–17 лет)			
		n	$M \pm m$	Min-max	KV	n	$M \pm m$	Min-max	KV
M. rectus femoris	A	14	0,33±0,03	0,12–0,5	33,8	26	0,35±0,04	0,11–0,73	52,0
	f	14	307,1±10,5	265–400	11,8	16	363,1±20,3	250–510	22,4
M. tibialis anterior	A	14	0,52±0,07	0,08–,86	48,3	26	0,410±0,1	0,02–0,82	58,3
	f	14	418,3±42,1	190–625	34,9	15	402,3±44,4	40–600	42,7
M. gastrocnemius lat.	A	14	0,27±0,04*	0,04–0,6	55,5	22	0,27±0,03*	0,03–0,53	53,8
	f	12	375,1±36,2	150–620	41,8	14	359,3±40,1	40–555	41,6

Примечание: A – амплитуда (мВ), f – частота (турн/сек.). * – достоверность отличия от значений здоровых сверстников. В норме амплитуда m. rectus femoris составляет 0,534±0,16 мВ, m. tibialis anterior – 0,614±0,14, m. gastrocnemius – 0,599±0,14 [17].

Даже для передней большеберцовой мышцы снижение данного показателя у подростков относительно уровня детей следует рассматривать как случайное ($p=0,170$) для данной выборки ввиду ее малого объема и высокой вариативности. Следует заметить, что показатели m. rectus femoris, m. tibialis anterior у пациентов с врожденным сколиозом достоверно не отличались от величин здоровых сверстников (возраст 4–17 лет) по данным литературы [17], хотя имели тенденцию к снижению. Амплитуда m. gastrocnemius была меньше, чем в норме (на 54,9%).

У пациентов с врожденным сколиозом прогрессирование деформации позвоночника может быть медленным и быстрым. Во время пика полового созревания оно значительно ускоряется [4, 15]. В наших исследованиях величины углов деформаций позвоночника в подростковом возрасте (11–17 лет) на 78,8% ($p=0,0002$) превышают значения, определяемые у детей (3–9 лет).

В нашей выборке обследуемых (детей и подростков), несмотря на отсутствие внутриспинальных аномалий, в 16,7% случаев регистрировался неврологический дефицит, что соответствовало данным других авторов (от 6% до 17%) [7]. Инструментальные исследования сенсомоторной системы пациентов с врожденным сколиозом определили отсутствие однонаправленного характера изменений в чувствительной и двигательной сферах.

Так, в группе детей и подростков, несмотря на то, что клинически отсутствовали чувствительные нарушения, инструментально были определены отличия порогов температурно-болевого чувствительности в дерматомах Th₁–S₂ от величин здоровых людей.

Регистрировались повышение порогов тепла и боли от горячего (гипестезия), отсутствие тепловой чувствительности (термоанестезия) и повышение порогов боли (гиперестезия).

В группе детей разные типы нарушения температурно-болевого чувствительности (гипестезия, термоанестезия) в наибольшей степени представлены в дерматомах с Th₈ по L₄, что может быть обусловлено тем, что у 7 из 10 пациентов на данном уровне располагалась основная дуга деформации позвоночника. Изменения температурно-болевого чувствительности могут быть обусловлены тем, что деформация позвоночника способствует натяжению спинного мозга и его корешков и, соответственно, изменению положения спинномозговых ганглиев и их деформации, что приводит к изменению и нарушению их функции [8, 12, 18].

Анализ состояния температурно-болевого чувствительности в группе подростков с врожденным сколиозом показал, что количество случаев нормальных порогов было значительно снижено, особенно по сравнению с данными детей (в 2–3 раза). Так, нормальные пороги тепловой и болевой чувствительности регистрировались в среднем в $6,8 \pm 3,0\%$ и $18,2 \pm 4,3\%$ случаев соответственно. Преобладающими нарушениями были гипестезия тепла и болевой чувствительности ($38,3 \pm 3,3\%$ и $78,2 \pm 6,0\%$ случаев соответственно), а также термоанестезия (в $55,0 \pm 3,0\%$ случаев).

Данная картина изменений может быть вызвана тем, что у 12 пациентов из 14 основная дуга деформации располагалась в области позвонков Th₆–L₄, и у 9 больных противодуга определялась на уровне Th₉–L₃. Спинной мозг и спинномозговые корешки растянуты и напряжены, дорсальные спинномозговые ганглии смещены и деформированы, что обуславливает нарушение их функций.

Кроме того, в подростковом возрасте наблюдается ускорение прогрессирования деформации позвоночника во время пика полового созревания пациента и отмечается нехватка времени и условий для адаптации неврологических структур к новым биомеханическим условиям.

Описанные выше изменения состояния сенсорной сферы пациентов с врожденным сколиозом позволяют заключить, что при данном виде патологии с возрастом усиливаются негативные изменения фракции тонких нервных волокон, связанных с температурно-болевым чувствительностью. Однако регистрация искаженных соматосенсорных вызванных потенциалов (большеберцовый нерв) у подростков с врожденным сколиозом (основная дуга деформации – 57,4 градуса) без аномалий нервной системы и неврологического дефицита позволяет предположить, что в паталогический процесс вовлечены и толстые миелинизированные волокна [12, 19]. По мнению Z.J. Chen et al., сенсорный дефицит может

быть вторичным по отношению к самой деформации позвоночника, а латеральное искривление позвоночника может привести к сенсорным нарушениям [8, 12].

Тем не менее мы видим, что с возрастом продолжается рост силы мышц, сила мышц голени соответствует показателям здоровых сверстников. Однако абсолютные и относительные моменты силы мышц бедра у детей и подростков с врожденным сколиозом ниже, чем у здоровых сверстников. Следовательно, можно предположить, что процессы роста и формирования мышц отчасти компенсируют негативное влияние паталогического процесса на состояние соответствующих нервных стволов.

Тот факт, что прирост силы мышц сопровождается отсутствием изменений амплитуды их вызванной и произвольной активности, свидетельствует о том, что при переходе от детского к подростковому возрасту у больных с врожденным сколиозом процессы формирования двигательных единиц и миелинизации моторных волокон уже завершены. Количество мышечных волокон в двигательных единицах и число двигательных единиц в мышцах остаются неизменными. Дальнейшее развитие мышечной системы происходит за счет усиленного роста сократительного аппарата в мышечных волокнах и совершенствования центральных механизмов управления моторными актами. На это косвенно указывают факт сохранения на одном уровне амплитуды произвольной ЭМГ на фоне прироста силы этих мышц и увеличение, по нашим данным, амплитуды Н-рефлекса икроножной мышцы в группе подростков с врожденным сколиозом по сравнению с пациентами детского возраста. Из первого можно заключить, что для достижения более высокого уровня силы мышц организму подростка требуется меньшее количество двигательных единиц, чем ребенку более младшего возраста (т.е. отдельная двигательная единица стала мощнее). Второй показатель демонстрирует, что с возрастом меняется функциональное состояние спинальных моторных центров.

Заключение

У детей и подростков с врожденным сколиозом инструментальные исследования сенсомоторной системы на предоперационном этапе определили отсутствие однонаправленного характера изменений в чувствительной и двигательной сферах. Как у детей, так и у подростков в дерматомах Th₁-S₂ были определены отличия порогов температурно-болевого чувствительности от величин здоровых сверстников. Регистрировались повышение порогов тепла и боли от горячего (гипестезия), отсутствие тепловой чувствительности (термоанестезия) и повышение порогов боли (гиперестезия). В группе подростков с врожденным сколиозом количество случаев наличия нормальных порогов было в 2–3 раза меньше, чем у пациентов детского возраста. Преобладающими нарушениями были гипестезия тепловой и болевой чувствительности, термоанестезия.

Однако на фоне этого с возрастом продолжается прирост силы мышц нижних конечностей, и силовые характеристики мышц голени соответствуют показателям здоровых сверстников. Однако абсолютные и относительные моменты силы мышц бедра у детей и подростков с врожденным сколиозом были достоверно снижены по сравнению с показателями здоровых обследуемых. Несмотря на возрастной прирост силы мышц, амплитуда их вызванной и произвольной активности существенно не меняется, хотя Н-рефлексы увеличились. Эти факты свидетельствуют о том, что при переходе от детского к подростковому возрасту у больных с врожденным сколиозом дальнейшее развитие мышечной системы происходит за счет усиленного роста сократительного аппарата в мышечных волокнах и совершенствования супраспинальных и спинальных механизмов управления моторными актами.

Авторы выражают благодарность д.б.н., проф. А.П. Шеину и Г.А. Криворучко за предоставление первичной информации по ЭМГ.

Список литературы

1. Mackel C.E., Jada A., Samdani A.F., Stephen J.H., Bennett J.T., Baaj A.A., Hwang S.W. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis. Childs Nerv. Syst. 2018. vol. 34. P. 2155-2171. DOI: 10.1007/s00381-018-3915-6.
2. Wynne-Davies R. Congenital vertebral anomalies: a etiology and relationship to spina bifida cystica. J. Med. Genet. 1975. no. 12. P. 280–288.
3. Giampietro P.F., Raggio C.L., Blank R.D., McCarty C., Broeckel U., Pickart M.A. Clinical, genetic and environmental factors associated with congenital vertebral malformations. Mol. Syndromol. 2013. vol. 4. P. 94–105. DOI: 10.1159/000345329.
4. Debnath U.K., Goel V., Harshavardhana N., Webb J.K. Congenital Scoliosis - Quo Vadis? Indian J. Orthop. 2010. vol. 44. no. 2. P. 137-147. DOI: 10.4103/0019-5413.61997.
5. Tikoo A., Kothari M.K., Shah K., Nene A. Current Concepts - Congenital Scoliosis. Open Orthop J. 2017. vol. 11. P. 337-345. DOI: 10.2174/1874325001711010337.
6. Pahys J.M., Guille J.T. What's New in Congenital Scoliosis? J. Pediatr. Orthop. 2018. vol. 38. no. 3. P. e172-e179. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000922.
7. McMaster M.J. Occult intraspinal anomalies and congenital scoliosis. J. Bone Joint Surg. Am. 1984. vol. 66. P.588–601.
8. Rajasekaran S., Kamath V., Kiran R., Shetty A.P. Intraspinal anomalies in scoliosis: an MRI analysis of 177 consecutive scoliosis patients. Indian J. Orthop. 2010. vol. 44. P.57–63. DOI:

10.4103/0019-5413.58607.

9. Ghandhari H., Tari H.V., Ameri E., Safari M.B., Fouladi D.F. Vertebral, rib, and intraspinal anomalies in congenital scoliosis: a study on 202 Caucasians. *Eur. Spine J.* 2015. vol. 24. P.1510–1521. DOI: 10.1007/s00586-015-3833-1.
10. Akbarnia B.A., Cheung K., Noordeen H., Elsebaie H., Yazici M., Dannawi Z., Kabirian N. Next generation of growth sparing techniques: preliminary clinical results of a magnetically controlled growing rod in 14 patients with early-onset scoliosis. *Spine.* 2013. vol.38. P.665–670. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182773560>
11. MacEwen G.D., Bunnell W.P., Sriram K. Acute neurological complications in the treatment of scoliosis. A report of the Scoliosis Research Society. *J Bone Joint Surg A.* 1975. vol. 57. P. 404–408.
12. Chen Z.J., Qiu Y., Ma W.W. et al. Comparison of somatosensory evoked potentials between adolescent idiopathic scoliosis and congenital scoliosis without neural axis abnormalities. *Spine.* 2014. vol. 14. no. 7. P. 1095-1098.
13. Shchurov V.A., Dolganova T.I., Dolganov, D.V. Femoral Muscle Dynamometer. *Biomedical Engineering.* 2014. vol. 48. is. 1. P. 30-32. DOI: 10.1007/s10527-014-9410-9.
14. Shchurov V.A., Dolganova T.I., Dolganov D.V. Device for Measuring Lower Leg Muscle Strength. *Biomedical Engineering.* 2016. vol. 50. is. 2. P. 124-127. DOI: 10.1007/s10527-016-9602-6.
15. McMaster M.J., Ohtsuka K. The natural history of congenital scoliosis. A study of two hundred and fifty-one patients. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1982. vol. 64. P.1128–1147.
16. Аршавский И.А. Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития: Основы негэнтропийной теории онтогенеза. М.: Наука, 1982. 270 с.
17. Куренков А.Л., Артеменко А.Р. Роль периферического нейромоторного аппарата в формировании тяжелых двигательных нарушений у пациентов с детским церебральным параличом // *Нервно-мышечные болезни.* 2012. № 4. С. 43-52. DOI: 10.17650/2222-8721-2012-0-4-43-52.
18. Лазорт Г., Гуазе А., Джинджиан Р. Васкуляризация и гемодинамика спинного мозга. М.: Медицина, 1977. 256 с.
19. Щурова Е.Н., Прудникова О.Г., Рябых С.О., Липин С.А. Сравнительный анализ динамики температурно-болевого чувствительности после коррекции тяжелых и нетяжелых деформаций позвоночника у больных с идиопатическим сколиозом // *Гений ортопедии.* 2018. Том 24. № 3. С. 365-374. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-365-374.