

ТРАВМАТОЛОГИЯ TRAUMATOLOGY

DOI: 10.29413/ABS.2021-6.2.18

Анализ степени вовлечённости мышц нижних конечностей в патологический процесс у подростков с идиопатическим сколиозом

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

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»
Минздрава России (640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6, Россия)

Автор, ответственный за переписку: Щурова Елена Николаевна, e-mail: elena.shurova@mail.ru

Резюме

Обоснование. Вопрос о влиянии на функциональное состояние мышц нижних конечностей подросткового идиопатического сколиоза остаётся недостаточно освещённым.

Цель. Анализ степени вовлечённости мышц нижних конечностей в патологический процесс у подростков с идиопатическим сколиозом.

Методы. Выполнен сравнительный анализ результатов обследования 209 подростков: основная группа – 25 подростков с идиопатическим сколиозом, контрольная группа – 170 здоровых подростков, группа сравнения – 14 подростков с врождённым сколиозом. Оценка моментов силы мышц нижних конечностей была произведена с помощью динамометрических стенов. Методом глобальной и стимуляционной электронейромиографии регистрировали электрофизиологические характеристики мышц нижних конечностей.

Результаты. У подростков с идиопатическим и врождённым сколиозом снижение амплитуды произвольной ЭМГ мышц бедра сопровождается падением моментов силы относительно значений контрольной группы. Для мышц голени характерно сохранение величин моментов силы на уровне здоровых испытуемых в условиях сниженной произвольной ЭМГ высокой частоты, что указывает на поддержание необходимого уровня мышечного сокращения за счёт рекрутирования большего числа двигательных единиц, состоящих из меньшего числа мышечных волокон. Перестройка двигательных единиц не сопровождается атрофией элементов нейромоторного аппарата, на что указывает сохранность амплитуды М-ответов мышц-индикаторов и значений скорости распространения возбуждения по моторным волокнам. При идиопатическом сколиозе отсутствуют статистически значимые корреляционные связи между величиной угла деформации позвоночника с одной стороны и значениями асимметрии силовых и активационных характеристик мышц нижних конечностей.

Заключение. У подростков с идиопатическим сколиозом снижена функция мышц бедра, и отсутствует взаимосвязь между величиной деформации позвоночника и значениями асимметрии силовых и активационных характеристик мышц нижних конечностей. Аналогичный характер изменений функции мышц у подростков с идиопатическим и врождённым сколиозом может свидетельствовать о том, что причиной наблюдаемых изменений является не этиология заболевания, а недостаточный уровень моторной активности.

Ключевые слова: подростковый возраст, нижние конечности, сила мышц, биоэлектрическая активность мышц, деформации позвоночника, идиопатический сколиоз, врождённый сколиоз

Для цитирования: Щурова Е.Н., Сайфутдинов М.С., Долганова Т.И., Ахмедова М.А., Горбач А.П. Анализ степени вовлечённости мышц нижних конечностей в патологический процесс у подростков с идиопатическим сколиозом. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(2): 154-165. doi: 10.29413/ABS.2021-6.2.18.

Analysis of the Degree of Involvement of the Lower Limb Muscles in the Pathological Process in Adolescents with Idiopathic Scoliosis

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

National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics (M. Ulianov str. 6, Kurgan 640014,
Russian Federation)

Corresponding author: Elena N. Shchurova, e-mail: elena.shurova@mail.ru

Abstract

Background. The problem of the effect of adolescent idiopathic scoliosis on the functional condition of the lower limb muscles is still highlighted insufficiently.

Aim. Analysis of the degree of involvement of the lower limb muscles in the pathological process in adolescents with idiopathic scoliosis.

Methods. A comparative analysis has been made on the results of examination of 209 adolescents: 25 adolescents with idiopathic scoliosis; 170 normal adolescents; 14 adolescents with congenital scoliosis. The moments of force of the lower limb muscles were evaluated using dynamometric stands. Electrophysiological characteristics of the lower limb muscles were registered by the method of global and stimulation electroneuromyography.

Results. The decrease in the amplitude of voluntary EMG of the femoral muscles in adolescents with idiopathic and congenital scoliosis is accompanied by dropping the moments of force relative to the values of the control group. The leg muscles are characterized by the preservation of the values of force at the level of normal test subjects under the conditions of the reduced voluntary EMG of high frequency. The amplitude of the M-responses of the indicator muscles and the values of the excitation propagation velocity along the motor fibers were also preserved. There are no statistically significant correlations between the amount of the spine deformity, on the one hand, and the values of asymmetry of the characteristics of the muscles in adolescents with idiopathic scoliosis.

Conclusion. In adolescents with idiopathic scoliosis the function of femoral muscles is decreased, and there is no relationship between the amount of the spine deformity and the values of asymmetry of the characteristics of the lower limb muscles. The similar character of muscle function changes in adolescents with idiopathic and congenital scoliosis can testify that the cause of the observed changes is not the disease etiology, but the insufficient level of motor activity.

Key words: adolescence, lower limbs, muscle strength, bioelectric activity of muscles, spinal deformities, idiopathic scoliosis, congenital scoliosis

For citation: Shchurova E.N., Saifutdinov M.S., Dolganova T.I., Akhmedova M.A., Gorbach A.P. Analysis of the Degree of Involvement of the Lower Limb Muscles in the Pathological Process in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(2): 154-165. doi: 10.29413/ABS.2021-6.2.18.

ОБОСНОВАНИЕ

Идиопатический сколиоз – это трёхмерная деформация позвоночника неизвестной этиологии, характеризующаяся боковым отклонением во фронтальной плоскости, осевым вращением в горизонтальной плоскости и аномальным сагиттальным искривлением позвоночника [1, 2]. Подростковый идиопатический сколиоз (с углом Кобба более 10°) встречается в общей популяции населения различных регионов мира в достаточно широком диапазоне – от 0,93 до 12 % [1, 3].

Помимо того, что идиопатический сколиоз характеризуется трёхмерными изменениями в позвоночнике, он имеет отклонения в позиционировании и биомеханике других сегментов (плеч, лопаток, таза), которые связаны с развитием деформации позвоночника [4, 5]. Данные факты могут свидетельствовать о том, что мускулатура, вовлечённая в работу этих сегментов, находится под угрозой, либо вследствие различных компенсаторных изменений, вызванных деформацией, либо в результате первоначальных (этиологических) структурных изменений [6–8].

Большинство авторов считают идиопатический сколиоз многофакторным заболеванием [3, 9, 10], и среди причин развития данной патологии мышечный фактор является предметом продолжающихся дискуссий и интенсивных исследований [11–13].

У подростков с идиопатическим сколиозом наблюдается нарушение биомеханического баланса тела и его контроля [5, 14, 15], сенсомоторной адаптации и интеграции [16, 17].

По мнению D.P. Lédio Alves et al. [18], множество различных изменений опорно-двигательного аппарата (деформация позвоночника, отклонения в позиционировании и биомеханики плеч, лопаток, таза и т. д.), обнаруженных у этих подростков, заставляет поставить вопрос о степени их влияния на функцию мышц. Точно неизвестно, в какой момент мышцы лопатки и нижних конечностей начинают страдать вследствие структурных и биомеханических изменений, вызванных подростковым идиопатическим сколиозом [17, 18, 19]. Имеется мало данных о влиянии подросткового идиопатического сколиоза на функцию мышц нижних конечностей [17, 18, 20].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ степени вовлечённости мышц нижних конечностей в патологический процесс у подростков с идиопатическим сколиозом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 209 подростков (по классификации ВОЗ) [21]. Обследуемые подростки были разделены на три группы: 1) основная группа – 25 пациентов с идиопатическим сколиозом; 2) контрольная группа – 170 здоровых детей (обследуемые с отсутствием сколиоза и нарушения осанки, клинических признаков неврологического дефицита, травм и хирургических вмешательств на нижних конечностях, позвоночнике, спинном мозге); 3) группа сравнения – 14 пациентов с врождённым сколиозом (табл. 1). Сравнительный анализ антропометрических показателей определил (табл. 1), что подростки с идиопатическим сколиозом имеют рост, вес и индекс массы тела (ИМТ) такой же, как у здоровых сверстников. Обследуемые в группе сравнения (врождённый сколиоз) были ниже (–7,2 %, $p = 0,00035$) и имели меньший вес (–13,4 %, $p = 0,041$), чем здоровые дети и подростки с идиопатическим сколиозом, хотя ИМТ не отличался от значений других групп обследуемых.

Величина угла основной дуги в группе пациентов с идиопатическим сколиозом статистически значимо не отличалась от значений этого показателя у подростков с врождённым сколиозом. Хотя компенсаторная дуга была меньше на 42 % ($p = 0,016$) (табл. 1).

У подростков с идиопатическим сколиозом в неврологическом статусе не было выявлено двигательных, рефлекторных и чувствительных нарушений. Основная дуга деформации располагалась на уровне позвонков Th_{VII}–Th_{XII}, компенсаторная – на уровне позвонков L_I–L_{III}. При компьютерно-томографическом исследовании (КТ) были определены варианты изменения позвонков на вершине деформации: истончение дуг, ротация, деформация тел. Ни в одном случае не диагностировано уменьшение размеров позвоночного канала или компрессии его структур. Проведённые МРТ-исследования свидетельствуют об отсутствии изменений структуры спинного мозга (по типу миелопатии, сирингомиелии).

Таблица 1

Характеристика обследуемых подростков ($M \pm m$)

Table 1

Characteristics of the examined adolescents ($M \pm m$)

Показатели	Группы подростков		
	здоровые ($n = 170$)	с идиопатическим сколиозом ($n = 25$)	с врождённым сколиозом ($n = 14$)
Возраст, годы	14,7 $\pm$ 1,5 (11–18)	15,0 $\pm$ 0,36 (12–18)	14,0 $\pm$ 0,6 (11–17)
Пол	мальчики – 89 девочки – 81	мальчики – 7 девочки – 18	мальчики – 8 девочки – 6
Рост, см	161,3 $\pm$ 1,0 (137–182)	161,2 $\pm$ 1,6 (155–177)	150,0 $\pm$ 3,0* (131–164) –7,2 % ($p = 0,00035$)
Вес, кг	55,0 $\pm$ 1,1 (33–87)	53,2 $\pm$ 2,3 (40–90)	46,1 $\pm$ 2,2* (37–60) –13,4 % ($p = 0,041$)
ИМТ, кг/см ²	20,8 $\pm$ 0,3 (15,4–28,0)	20,6 $\pm$ 0,9 (14,3–35,2)	20,5 $\pm$ 0,8 (16,4–27) ($p = 0,589$)
Величина угла основной дуги деформации, °	–	52,0 $\pm$ 3,1 (32–85)	61,5 $\pm$ 4,9 (40–81) ($p = 0,131$)
Величина угла компенсаторной дуги деформации, °	–	30,07 $\pm$ 3,5 (15–65) $n = 16$	52,6 $\pm$ 5,0* (35–80) $n = 9$ ($p = 0,016$)

Примечание. * – статистическая значимость отличий от показателей здоровых подростков ($p < 0,05$).

Пациенты с врождённым сколиозом имели ряд аномалий развития позвоночника: нарушение сегментации и развития позвонков, наличие полупозвонка, сверхкомплектного позвонка, блока позвонков, клиновидных и бабочкообразных позвонков и др. Обследованные пациенты не имели внутриспинальных аномалий. Тем не менее, были зарегистрированы двигательные нарушения у 3 (21 %) больных: нижний монопарез справа, правосторонний гемипарез, нижний спастический парализ. Основная дуга деформации располагалась на уровне позвонков Th_{VI}–L_{IV}, компенсаторная – на уровне позвонков Th_{IX}–L_{III}.

У всех обследуемых подростков было проведено исследование максимальных моментов силы мышц нижних конечностей с помощью динамометрических стенов для бедра [22] и голени [23]. Регистрацию моментов силы осуществляли при произвольном сокращении мышц в режиме, близком к изометрическому. Производили расчёт сначала абсолютного максимального момента силы (Н·м), а потом – относительного (с учётом массы тела) момента силы мышц нижних конечностей (Н·м/кг).

Также осуществляли оценку амплитуды моторных (М-ответов), рефлекторных (Н-ответов) вызванных потенциалов и интерференционной электромиограммы (ЭМГ) при максимальном произвольном напряжении мышц нижних конечностей. В качестве индикаторов, отражающих функциональное состояние моторной системы пациентов, использовались поверхностно расположенные мышцы нижних конечностей, доступные для использования поверхностных отводящих электродов и 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 lat.* (S_I), *m. rectus femoris* (L_{IV}), *m. extensor digitorum brevis*

(L_V), *m. flexor digitorum brevis* (S_I). Рассчитывалась максимальная скорость распространения возбуждения (СРВ) по моторным волокнам малоберцового нерва, как отношение длины между проксимальной (подколенная ямка) и дистальной (лодыжка) точками стимуляции нерва к разности латентных периодов М-ответов, при раздражении в соответствующих точках. ЭМГ-исследования проводились по схеме, разработанной А.П. Шениным [24], с использованием цифровой системы Viking EDX (Natus Medical Incorporated, США). В качестве нормы использованы ранее опубликованные данные [25].

Данное исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации с последующими изменениями. Пациенты, достигшие 18 лет, а также родители детей или их законные представители подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических исследований и публикацию данных без идентификации личности.

Математическую обработку полученных данных выполняли с помощью пакета программ Microsoft Excel 2010. Проверка характера статистического распределения значений анализируемых параметров осуществлялась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для оценки статистической значимости различий анализируемых параметров при их нормальном распределении использовали t-критерий Стьюдента, в остальных случаях применяли непараметрические критерии. Различия считались значимыми при $p < 0,05$. Рассчитывали коэффициенты асимметрии (As) физиологических характеристик тестируемых мышечных групп по формуле:

$$As = \frac{(X_{max} - X_{min}) \times 100\%}{X_{max}} \quad (1),$$

где X_{max} – максимальное; X_{min} – минимальное значение параметра.

Для оценки вариативности ЭМГ-параметров рассчитывали коэффициенты вариации (KV) по формуле:

$$KV = \frac{\sigma \times 100}{M} \% (2),$$

где M – средняя арифметическая; σ – стандартное (среднее квадратическое) отклонение. Для количественной оценки возможной степени влияния асимметрии физиологических характеристик тестируемых мышечных групп на выраженность деформации позвоночника рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ результатов исследований показал, что у подростков с идиопатическим сколиозом в сравнении с показателями здоровых сверстников (табл. 2), снижены только максимальные моменты силы мышц бедра (разгибателей и сгибателей голени). Так абсолютный и относительный момент силы разгибателей голени был на 26,8 % ($p = 0,004$) и 23,6 % ($p = 0,005$) соответственно меньше, чем показатели контрольной группы. Моменты силы сгибателей голени имеют тот же уровень снижения (абсолютный момент силы – 26,1 % ($p = 0,008$), относительный момент силы – 24,6 % ($p = 0,006$)). Силовые характеристики мышц голени (тыльные и подошвенные сгибатели стопы) у подростков с идиопатическим сколиозом соответствуют показателям здоровых сверстников (табл. 2).

При врожденном сколиозе также наблюдается снижение моментов силы мышц бедра, и уровень падения относительных моментов соответствует значениям подростков с идиопатическим сколиозом (разгибатели голени снижены на 24,2 % ($p = 0,007$), сгибатели голени – на 20 % ($p = 0,02$)), хотя величина снижения абсолютных моментов была выше: разгибателей голени – на 36,6 % ($p = 0,002$), сгибателей голени – на 33,3 % ($p = 0,003$).

Анализ силовых показателей тыльных сгибателей стопы показал, что у подростков с врожденным сколиозом отсутствовали статистически значимые отличия от значений контрольной группы (табл. 2). Абсолютный момент силы подошвенных сгибателей стопы был снижен на 19,5 % ($p = 0,028$) относительно показателей здоровых сверстников и на 16,9 % ($p = 0,033$) – подростков с идиопатическим сколиозом. Хотя относительный момент силы статистически значимо не отличался от уровня нормы.

Также следует обратить внимание на то, что абсолютные и относительные моменты силы разгибателей и сгибателей голени, тыльных сгибателей стопы и относительный момент подошвенных сгибателей стопы статистически значимо не различаются в группах подростков с идиопатическим и врожденным сколиозом (табл. 2).

У подростков с идиопатическим сколиозом степень асимметрии силовых показателей на правой и левой нижней конечности соответствует уровню нормы (табл. 3).

Степень асимметрии моментов силы нижних конечностей у пациентов с врожденным сколиозом статистически значимо не отличалась от величин подростков с идиопатическим сколиозом (табл. 3).

Показатель асимметрии абсолютных максимальных моментов силы мышц нижних конечностей у подростков с идиопатическим сколиозом не коррелирует с величиной угла основной и компенсаторной дуги деформации позвоночника (табл. 4). Значения коэффициентов корреляции составляли 0,1–0,21 при $p > 0,05$. Также отсутствует корреляция и в группе с наличием основной и компенсаторной дуг деформации позвоночника. При этом значения коэффициентов корреляции колебались от –0,051 до –0,33 и от –0,43 до 0,22 соответственно, при $p > 0,05$.

Показатели абсолютного (Н·м) и относительного (Н·м/кг) максимального момента силы мышц нижних конечностей у подростков в норме, с идиопатическим и врожденным сколиозом ($M \pm m$)

Table 2

Indicators of absolute (N·m) and relative (N·m/kg) maximum strength of muscles of the lower extremities in adolescents in normal, with idiopathic and congenital scoliosis ($M \pm m$)

Группы мышц	Моменты силы	Группы подростков		
		здоровые ($n=170$)	с идиопатическим сколиозом ($n=25$)	с врожденным сколиозом ($n=14$)
Разгибатели голени	АМС	94,6 ± 4,0	69,3 ± 3,1* ($2n=50$)	60,0 ± 7,5* ($2n=28$), $p_{2,3}=0,087$
	ОМС	1,78 ± 0,06	1,36 ± 0,07* ($2n=50$)	1,35 ± 0,16* ($2n=28$)
Сгибатели голени	АМС	68,7 ± 3,0	50,8 ± 2,5* ($2n=50$)	45,8 ± 5,3* ($2n=28$) $p_{2,3}=0,198$
	ОМС	1,30 ± 0,05	0,98 ± 0,05* ($2n=50$)	1,04 ± 0,11* ($2n=28$) $p_{2,3}=0,799$
Подошвенные сгибатели стопы	АМС	73,7 ± 5,4	71,4 ± 3,4 ($2n=50$)	59,3 ± 4,6* ($2n=28$) $p_{2,3}=0,033$
	ОМС	1,4 ± 0,10	1,4 ± 0,07 ($2n=50$)	1,37 ± 0,10 ($2n=28$)
Тыльные сгибатели стопы	АМС	30,4 ± 2,6	32,2 ± 2,1 ($2n=50$)	30,4 ± 3,5 ($2n=28$)
	ОМС	0,56 ± 0,06	0,63 ± 0,04 ($2n=50$)	0,68 ± 0,07 ($2n=28$)

Примечание. * – статистическая значимость отличий показателей от уровня нормы ($p < 0,05$); * – статистическая значимость отличий показателей при идиопатическом и врожденном сколиозе ($p < 0,05$); АМС – абсолютный момент силы; ОМС – относительный момент силы; $p_{2,3}$ – статистическая значимость отличий показателей при идиопатическом и врожденном сколиозе; $2n$ – количество обследованных конечностей.

Таблица 3

Асимметрия максимальных моментов силы мышц нижних конечностей у подростков с идиопатическим и врождённым сколиозом

Table 3

Asymmetry of the maximum moments of strength of the muscles of the lower extremities in adolescents with idiopathic and congenital scoliosis

Группы мышц	Идиопатический сколиоз (n = 25)			Врождённый сколиоз (n = 14)		
	Правая конечность	Левая конечность	Асимметрия (%)	Правая конечность	Левая конечность	Асимметрия (%)
Разгибатели голени	69,3 ± 4,3	69,2 ± 4,5	12,1 ± 1,6	55,4 ± 10,9	64,3 ± 10,8	16,3 ± 3,7 p = 0,34
Сгибатели голени	53,1 ± 3,2	50,3 ± 3,7	13,0 ± 2,4	45,0 ± 7,4	46,7 ± 8,1	10,3 ± 1,9 p = 0,96
Подошвенные сгибатели стопы	72,7 ± 4,9	70,1 ± 4,7	9,9 ± 1,4	62,8 ± 5,5	57,1 ± 6,7	10,5 ± 3,8 p = 0,94
Тыльные сгибатели стопы	33,1 ± 2,7	31,3 ± 2,9	11,9 ± 1,8	31,1 ± 5,1	30,0 ± 4,9	15,0 ± 4,8 p = 0,85

Таблица 4

Отсутствие взаимосвязи величины угла основной и компенсаторной дуги деформации и асимметрии силы мышц нижних конечностей у подростков с идиопатическим сколиозом (n = 25)

Table 4

Lack of correlation between the angle of the main and compensatory arc of deformation and the asymmetry of the strength of the muscles of the lower extremities in adolescents with idiopathic scoliosis (n = 25)

Группы мышц	Взаимосвязь угла основной дуги деформации и степени асимметрии силы мышц нижних конечностей		Взаимосвязь угла основной и компенсаторной деформации дуги и степени асимметрии силы мышц нижних конечностей			
			Основной дуги		Компенсаторной дуги	
	r	p	r	p	r	p
Разгибатели голени	0,10	0,65	-0,23	0,37	-0,25	0,35
Сгибатели голени	0,21	0,36	-0,33	0,21	-0,43	0,09
Подошвенные сгибатели стопы	0,13	0,54	0,204	0,48	0,22	0,45
Тыльные сгибатели стопы	0,18	0,36	-0,051	0,86	0,212	0,47

Коэффициент отношения моментов силы разгибателей и сгибателей голени на правой и левой конечности у пациентов с идиопатическим сколиозом соответствует значениям здоровых подростков. Так, если у здоровых подростков коэффициент отношения момента силы разгибателей и сгибателей голени составил $1,38 \pm 0,06$, у пациентов с идиопатическим сколиозом – $1,38 \pm 0,04$. У подростков с идиопатическим сколиозом эти коэффициенты статистически значимо не различаются на правой ($1,31 \pm 0,05$) и левой ($1,43 \pm 0,06$, $p = 0,055$) нижних конечностях. Также этот показатель не коррелировал с величиной основной дуги деформации (справа – $r = -0,15$, $p = 0,480$; слева – $r = 0,231$, $p = 0,278$). Отсутствовала корреляция и в группе с наличием основной и компенсаторной дуг: 1) основная дуга – $r = -0,16$ ($p = 0,560$); 2) компенсаторная дуга – $r = -0,12$ ($p = 0,672$).

Таким образом, у подростков с идиопатическим сколиозом моменты силы мышц разгибателей и сгибателей голени были значительно снижены относительно показателей здоровых сверстников. Хотя коэффициент асимметрии и отношения моментов силы разгибателей к сгибателям голени соответствовали уровню нормы. Силовые характеристики тыльных и подошвенных сгибателей стопы статистически значимо не отличались от значений подростков контрольной группы. Такая же картина изменений наблюдалась и при врождённом сколиозе. Показатель асимметрии моментов силы на правой и левой конечностях и коэффициент отношения моментов силы разгибателей и сгибателей голени статистически

значимо не отличались от уровня нормы и не коррелировали с величиной угла основной и компенсаторной дуг деформации позвоночника.

Исследование нейромышечного аппарата определило, что средние величины выборки амплитуды М-ответов мышц нижних конечностей (табл. 5) у подростков с идиопатическим сколиозом и врождённым сколиозом имеют близкие значения ($p > 0,05$; см. табл. 5). Их отклонения от уровня нормы носят разнонаправленный характер, а степень вариативности колеблется от умеренного до среднего уровня. Коэффициент асимметрии данного параметра в большинстве случаев соответствует норме. У здоровых людей он не превышает 18 %, но чаще бывает ближе к 10 % [25]. Только в группе пациентов с врождённым сколиозом, в одном случае, *m. extensor digitorum brevis* имела асимметрию амплитуды М-ответов 25 % (умеренная степень асимметрии).

Амплитуда ЭМГ при максимальном произвольном напряжении мышц нижних конечностей существенно снижена как у подростков с идиопатическим, так и с врождённым сколиозом (табл. 6). Степень угнетения произвольной ЭМГ-активности имеет близкие значения в этих двух группах ($p > 0,05$; см. табл. 6). Вариативность данного параметра можно отнести к среднему уровню, диапазон колебания значений, для большинства мышц, находится: при идиопатическом сколиозе – между 20–30 %; при врождённом сколиозе – между 30–40 %. Этот показатель был больше при врождённом сколиозе и, в целом, существенно выше вариативности амплитуды М-ответа.

Таблица 5

Статистические характеристики амплитуды М-ответов (мВ) мышц нижних конечностей подростков с идиопатическим и врождённым сколиозом ($M \pm m$)

Table 5

Statistical characteristics of the amplitude of M-responses (mV) of the muscles of the lower extremities of adolescents with idiopathic and congenital scoliosis ($M \pm m$)

Мышца-индикатор	Нижняя конечность								As
	левая				правая				
	<i>n</i>	<i>M ± m</i>	N %	KV	<i>n</i>	<i>M ± m</i>	N %	KV	
Идиопатический сколиоз									
<i>m. rectus fem.</i>	23 P	19,3 ± 0,8 ¹ 0,770; ² 0,638	89,0	20,1	23	19,6 ± 0,6 ¹ 0,770; ² 0,692	90,3	15,4	9,2
<i>m. tibialis ant.</i>	23 P	8,5 ± 0,4 ¹ 0,909; ² 0,518	111,3	16,5	23	8,5 ± 0,3 ¹ 0,909; ² 0,743	107,7	16,2	12,2
<i>m. ext. dig. br.</i>	23 P	8,9 ± 0,6 ¹ 0,653; ² 0,322	81,7	34,5	23	8,5 ± 0,5 ¹ 0,653; ² 0,612	82,2	26,0	18,8
<i>m. gastr.</i>	23 P	30,2 ± 1,7 ¹ 0,218; ² 0,126	94,8	26,8	23	27,4 ± 1,5 ¹ 0,218; ² 0,419	87,5	26,8	12,5
<i>m. flex. dig. br.</i>	23 P	19,2 ± 1,1 ¹ 0,670; ² 0,622	119,0	27,2	23	19,8 ± 1,1 ¹ 0,670; ² 0,798	111,4	27,1	12,6
Врождённый сколиоз									
<i>m. rectus fem.</i>	12 P	19,9 ± 1,05 ¹ 0,593; ² 0,638	91,9	18,3	12	19,0 ± 1,38 ¹ 0,593; ² 0,692	87,5	25,3	10,8
<i>m. tibialis ant.</i>	12 P	8,9 ± 0,61 ¹ 0,828; ² 0,518	117,2	23,9	12	8,7 ± 0,58 ¹ 0,828; ² 0,743	110,4	23,1	12,1
<i>m. ext. dig. br.</i>	11 P	7,7 ± 1,04 ¹ 0,814; ² 0,322	70,3	44,9	10	8,0 ± 0,95 ¹ 0,814; ² 0,612	76,9	37,5	25,1
<i>m. gastr.</i>	12 P	23,6 ± 3,72 ¹ 0,899; ² 0,126	74,1	54,5	12	24,3 ± 3,42 ¹ 0,899; ² 0,419	77,6	48,8	13,7
<i>m. flex. dig. br.</i>	11 P	17,5 ± 3,09 ¹ 0,710; ² 0,622	108,7	58,6	10	19,1 ± 2,73 ¹ 0,710; ² 0,798	107,1	45,2	18,0

Примечание. n – количество наблюдений; N % – процент от уровня нормы; KV – коэффициент вариации (формула 2); As – коэффициент асимметрии (формула 1); под значениями средних арифметических приведены величины p при сравнении контралатеральных (первое значение) и межгрупповых (второе значение) различий; все $p > 0,05$, т.е. различия статистически незначимы.

Таблица 6

Статистические характеристики ЭМГ-параметров мышц нижних конечностей подростков с идиопатическим и врождённым сколиозом ($M \pm m$)

Table 6

Statistical characteristics of EMG parameters of lower limb muscles in adolescents with idiopathic and congenital scoliosis ($M \pm m$)

Мышца-индикатор		Нижняя конечность								As
		левая				правая				
		n	M ± m	N %	KV	n	M ± m	N %	KV	
Идиопатический сколиоз										
m. rectus fem.	A	23 P	0,4 ± 0,03 10,500; 20,658	46,8	41,4	23 P	0,4 ± 0,03 10,500; 20,938	54,4	40,3	20,0
	f	19 P	258 ± 19 10,328; 20,004		31,4	19 P	235 ± 14 10,328; 20,002		25,3	
m. tibialis ant.	A	23 P	0,5 ± 0,03 10,908; 20,838	64,8	34,7	23 P	0,5 ± 0,03 10,908; 20,332	63,7	29,9	21,3
	f	19 P	349 ± 18 10,361; 20,260		22,7	19 P	375 ± 21 10,361; 20,770		24,5	
m. gastr.	A	23 P	0,2 ± 0,02 10,987; 20,155	44,7	47,1	23 P	0,2 ± 0,02 10,987; 20,366	43,7	35,0	23,6
	f	18 P	349 ± 27 10,823; 20,545		32,6	18 P	357 ± 26 10,823; 20,518		30,4	
Врождённый сколиоз										
m. rectus fem.	A	12 P	0,4 ± 0,05 10,983; 20,658	50,3	46,6	12 P	0,4 ± 0,06 10,983; 20,938	53,7	51,5	18,3
	f	7 P	364 ± 25 10,503; 20,004		17,9	7 P	392 ± 33 10,503; 20,002		22,4	
m. tibialis ant.	A	12 P	0,5 ± 0,06 10,388; 20,838	66,9	46,7	12 P	0,4 ± 0,06 10,388; 20,332	54,3	54,8	34,6
	f	7 P	428 ± 61 10,765; 20,260		38,0	7 P	399 ± 74 10,765; 20,770		48,8	
m. gastr.lat.	A	11 P	0,3 ± 0,04 10,747; 20,155	59,1	47,9	11 P	0,3 ± 0,05 10,747; 20,366	53,6	62,1	27,9
	f	7 P	395 ± 68 10,396; 20,545		45,5	7 P	324 ± 43 10,396; 20,518		35,4	

Примечание. A – амплитуда (мВ); f – частота (турн./с); n – количество наблюдений; N % – процент от уровня нормы; KV – коэффициент вариации (формула 2); As – коэффициент асимметрии амплитуды (формула 1); под значениями средних арифметических приведены величины p при сравнении контралатеральных (первое значение) и межгрупповых (второе значение) различий; статистически значимые различия ($p < 0,05$) выделены полужирным.

Для большинства отведений асимметрия произвольной ЭМГ может быть отнесена к умеренному типу. Она выше, чем для амплитуды М-ответа, но не является выраженным признаком патологии.

Все записи произвольной ЭМГ-активности условно разделены на насыщенные и ненасыщенные паттерны. Во втором случае электрограмма выглядит как череда всплесков активности и периодов молчания. В нашей выборке они регистрировались в симметричных отведениях. В большинстве случаев пациент демонстрировал для всех тестируемых мышц ненасыщенные паттерны активности. В группе с идиопатическим сколиозом они составляли для *m. rectus femoris* и *m. tibialis anterior* 17,4 %, а для *m. gastrocnemius lateralis* – 21,7 %. У подростков с врождёнными деформациями эти паттерны наблюдались в 41,7 и 36,4 % наблюдений в аналогичных мышцах. Для насыщенных паттернов ЭМГ средние значения частотных характеристик (количество турнов в секунду) произвольной ЭМГ в группах сравнения отличаются незначительно ($p > 0,05$; см. табл. 6). У пациентов с врождённым сколиозом чаще регистрируются более высокочастотные ЭМГ-паттерны, чем у пациентов с идиопатическим сколиозом (рис. 1). Для *m. rectus femoris* повышение частоты статистически значимо ($p < 0,05$; см. табл. 6).

На рисунке 1 представлены корреляционные поля, отражающие сложную связь амплитуды и частоты ЭМГ при максимальном произвольном напряжении. Каждой точке на графике соответствует одно наблюдение. Анализ характеристик *m. rectus femoris* показал, что данные пациентов с идиопатическим сколиозом (тёмные кружки) равномерно распределены по всему диапазону параметров, в то время как все ЭМГ-показатели больных с врождённым сколиозом (белые кружки) группируются в правой (более высокочастотной) зоне графика. При этом диапазоны амплитуды ЭМГ обеих групп практически совпадают.

При анализе *m. tibialis anterior* было определено, что в группе пациентов с врождённым сколиозом намечается кластеризация данных, в то время как у подростков с идиопатическим сколиозом наблюдается равномерное распределение множества точек по всему графику. Основной массив белых кружков (врождённый сколиоз) по-прежнему группируется в правой части графика. Отчётливо видны отдельные группы данных: 1) низкоамплитудная, низкочастотная – патологическая ЭМГ (в левом нижнем углу); 2) низкоамплитудная ЭМГ при средних значениях частот; 3) ЭМГ с умеренно сниженной амплитудой и частотой. Данные обособленные кластеры выделены пунктирной линией.

При анализе показателей *m. gastrocnemius lateralis* было выявлено, что феномен усиления кластеризации данных в группе подростков с врождённым сколиозом выражен в большей степени. Фактически вся совокупность наблюдений распадается на маленькие кластеры, большая часть которых сгруппирована в центре и на правой стороне анализируемого частотного диапазона. В левой части графика остаются единичные записи низкочастотной ЭМГ со значительно и умеренно сниженной амплитудой. У подростков с идиопатическим сколиозом, как и для остальных тестируемых мышц (*m. rectus femoris*, *m. tibialis anterior*), электрограммы произвольной ЭМГ *m. gastrocnemius lateralis* относительно

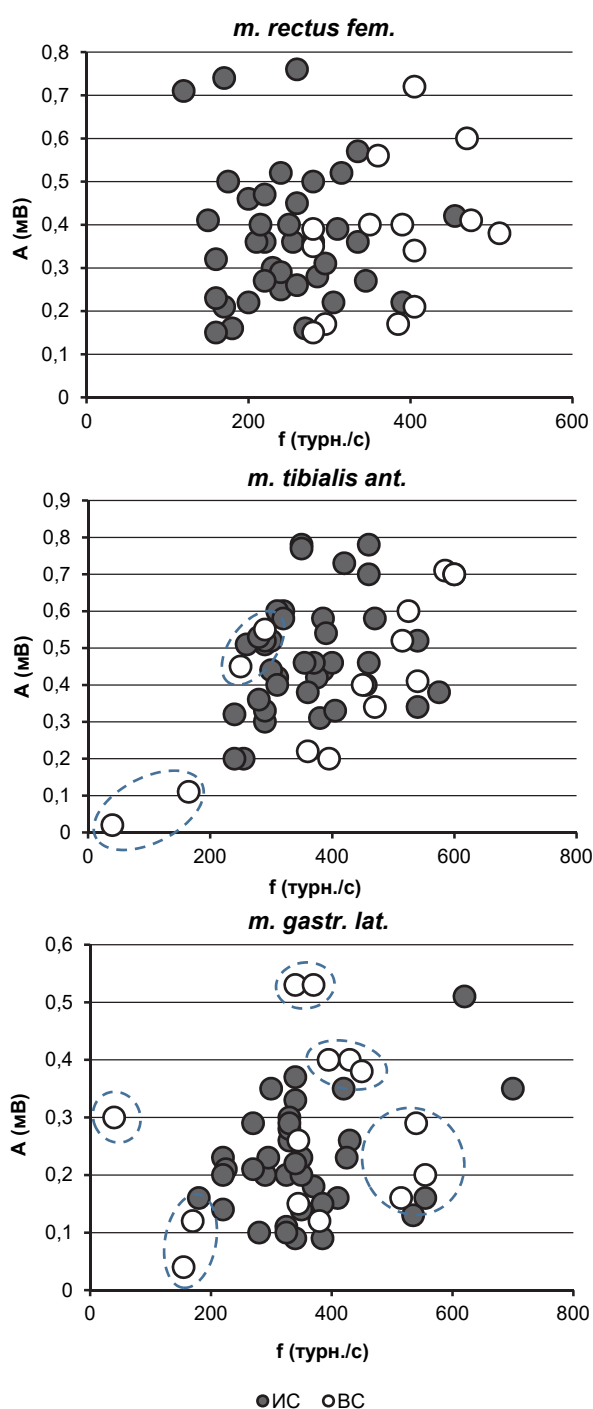


Рис. 1. Параметры ЭМГ при максимальном произвольном напряжении для насыщенных паттернов активности в группах сравнения: А – амплитуда (мВ); f – частота (турн./с); ИС – идиопатический сколиоз; ВС – врождённый сколиоз

Fig. 1. EMG parameters at maximum voluntary stress for saturated patterns of activity in comparison groups: A – amplitude (mV); f – frequency (turn/sec); IS – idiopathic scoliosis; BC – congenital scoliosis

равномерно распределены по анализируемой области корреляционного поля (за исключением двух «выскакивающих» наблюдений).

Исследование максимальной СРВ (скорости распространения возбуждения) по моторным волокнам *n. tibialis* у подростков с идиопатическим, врождённым сколиозом и контрольной группы определило отсутствие статистически значимых отличий.

У пациентов с идиопатическим сколиозом средние значения CPB по моторным волокнам *n. tibialis* составили слева $52,6 \pm 1,29$ м/с и справа $53,4 \pm 1,39$ м/с. В группе с врождённым сколиозом данный параметр был аналогичным: слева – $53,4 \pm 2,08$ м/с, справа – $55,9 \pm 2,33$ м/с. Вариативность CPB для групп сравнения была невысокой и составляла слева 10,7 и 12,3 %, а справа 11,3 и 13,2 % соответственно. Все значения статистически значимо не отличаются от уровня нормы, билатеральные и межгрупповые различия между ними статистически незначимы ($p = 0,655$, $p = 0,439$ и $p = 0,370$ соответственно). Средняя асимметрия CPB в группе с идиопатическим сколиозом составила $7,8 \pm 1,48$ %, а при врождённых деформациях позвоночника – $5,8 \pm 1,75$ % ($p > 0,05$). Не выявлена корреляционная связь между величиной CPB и её асимметрией, с одной стороны, и величиной деформации, с другой.

Анализ и обобщение амплитуды рефлекторных потенциалов (Н-ответов) у подростков со сколиотической деформацией позвоночника определили статистически значимое снижение относительно показателей здоровых сверстников. Средние значения амплитуды Н-ответа *m. gastrocnemius lateralis* в группе пациентов с идиопатическим сколиозом составляли $5,1 \pm 0,5$ мВ (на 29,2 % ниже нормы; $p = 0,007$), для подростков с врождённым сколиозом – $6,3 \pm 0,2$ мВ (на 12,5 % ниже нормы; $p = 0,04$). Межгрупповые различия статистически незначимы ($p = 0,210$). Относительный уровень моносинаптической возбудимости спинальных моторных ядер *m. gastrocnemius lat.* ($H_{\max}/M_{\max}$ %) составлял для идиопатического сколиоза $17,4 \pm 1,45$ %, для врождённой деформации позвоночника – $25,8 \pm 4,63$ %. Межгрупповые различия статистически незначимы ($p = 0,100$). Наблюдалось умеренное снижение относительно нормы, более выраженное для идиопатического сколиоза. Асимметрия данного параметра может считаться умеренно повышенной. При идиопатическом сколиозе она составляла $29,9 \pm 4,01$ %, при врождённом – $31,1 \pm 8,55$ % ($p = 0,743$). Кроме того, обобщение полученных данных показало отсутствие корреляционной связи между степенью асимметрии амплитуды Н-ответов, величиной деформации позвоночника и асимметрией абсолютного и относительного моментов подошвенных сгибателей стопы.

Таким образом, амплитуда ЭМГ при максимальном произвольном напряжении мышц нижних конечностей существенно снижена во всех отведениях у подростков как при идиопатическом, так и врождённом сколиозе. Степень угнетения произвольной ЭМГ-активности имеет близкие значения. Также наблюдается сохранность амплитуды М-ответов мышц индикаторов и нормальные величины скорости распространения возбуждения по моторным волокнам. Снижение относительно нормы в обеих группах сравнения средних значений амплитуды Н-ответа, а также показателя $H_{\max}/M_{\max}$ % указывают на уменьшение моносинаптической возбудимости соответствующих спинальных мотонейронов, выраженной в большей степени для группы с идиопатическим сколиозом.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проблемы консервативного лечения идиопатического сколиоза, в частности его недостаточность, неспособность избежать хирургического этапа, связаны с неопределённостями в понимании механизмов возник-

новения и прогрессирования заболевания [26, 27]. В настоящее время, собран и опубликован большой массив информации, показывающий, что возникновение и прогрессирование идиопатического сколиоза – сложный многокомпонентный процесс. В этом процессе важную роль могут играть изменения в центральной нервной системе (ЦНС) [15, 28, 29], проприоцептивном аппарате [16, 17], мышцах [11, 30, 31], костной и соединительной тканях [32], которые возможно связаны с некоторыми особенностями генома, влияющими на миогенез [33, 34], и условиями жизни людей [35].

Морфологические изменения в мышцах [11, 30, 31] носят преимущественно неспецифический [36], диффузный [30, 37] характер, поэтому могут быть как в числе причин возникновения сколиоза, так и его последствий. Такая же неопределённость констатируется и для изменений, наблюдаемых в ЦНС [29].

Таким образом, в настоящее время по-прежнему остаётся неясным, какие из вышеперечисленных феноменов являются ведущими, а какие вторичными, усиливающими или ослабляющими патологические процессы. Это хорошо видно на примере развития нарушения биомеханического баланса тела у подростков с идиопатическим сколиозом, идущего параллельно с нарушениями в системе соответствующего сенсорного контроля и сенсомоторной интеграции [5, 14, 15]. Процесс должен развиваться циклично по механизму положительной обратной связи. Ведущим звеном такого цикла может быть инфантильность системы мышечного веретена [16, 17].

Развитие разного рода нарушений осанки в процессе роста и развития детского организма не может рассматриваться в качестве надёжного предиктора возникновения идиопатического сколиоза, поскольку далеко не всегда заканчивается таковым (в 27–50 % случаев) [26]. Однако нарушение осанки в сочетании с некоторыми специфическими изменениями физиологических характеристик моторной системы вполне могут оказаться прогностически перспективными. В качестве перспективных кандидатов на роль таких параметров мы предлагаем рассматривать соотношение силовых и активационных свойств мышц-антагонистов, поскольку именно мало-значимые сбои в координации тонической и фазной активности мышечных групп могут быть ключевым звеном замкнутого через положительные обратные связи цикла накопления патологических изменений (рис. 2).

В данном случае мы говорим о цикле, потому что последовательность причин и следствий замыкается в кольцо, которое при движении вдоль оси времени превращается в спираль. Данный цикл является итерационным, потому что результат предыдущего движения по кольцу обратных связей становится исходным пунктом для нового повторения цикла, в результате чего патологические изменения накапливаются в опорно-двигательной системе.

Полученные в нашем исследовании данные указывают на значимое снижение средних величин моментов силы мышц бедра у подростков с идиопатическим сколиозом, по сравнению со здоровыми сверстниками и сопоставимое с пациентами с врождённым сколиозом. Однако в последнем случае снижение связано с отставанием в развитии, корни которого уходят в пренатальную гипоксию тканей плода. При взрослении, особенно в процессе ростового скачка, детский организм пытается компенсировать это



Рис. 2. Многократно повторяющийся итерационный цикл накопления структурно-функциональных микронарушений в опорно-двигательной системе подростков в процессе развития идиопатического сколиоза

Fig. 2. Repeated iterative cycle of accumulation of structural and functional microdisorders in the musculoskeletal system of adolescents during the development of idiopathic scoliosis

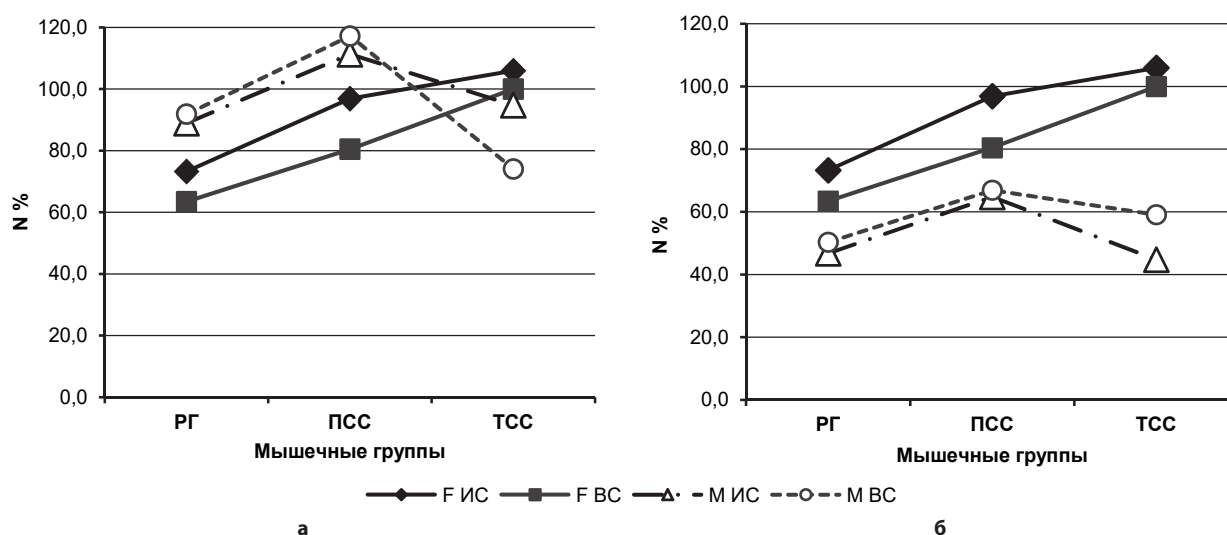


Рис. 3. Взаимосвязь моментов силы и амплитуды вызванной (а) и произвольной (б) электрической активности мышц подростков в группах сравнения: РГ – разгибатели голени; ПСС – подошвенные сгибатели стопы и тыльные сгибатели стопы; F IS – момент силы при идиопатическом сколиозе; F BC – момент силы при врожденном сколиозе; M IS – амплитуда электрической активности при идиопатическом сколиозе; M BC – амплитуда электрической активности при врожденном сколиозе

Fig. 3. The relationship between the moments of force and amplitude of evoked (a) and voluntary (b) electrical activity of the muscles of adolescents in the comparison groups: РГ – leg extensors; ПСС – plantar flexors of the foot and dorsal flexors of the foot; N % – the degree of decrease in parameters relative to the norm; F IS – moment of force in idiopathic scoliosis; F BC – moment of force in congenital scoliosis; M IS – amplitude of electrical activity in idiopathic scoliosis; M BC – amplitude of electrical activity in congenital scoliosis

отставание, что проявляется в уменьшении степени снижения моментов силы мышц бедра относительно нормы у подростков по сравнению с детьми [38].

Сходство распределения средних значений относительных моментов силы мышц нижних конечностей в группах сравнения (идиопатический и врожденный сколиоз), выраженных в процентах от уровня нормы (рис. 3, тренды F IS и F BC), позволяет предположить, что ведущим фактором его формирования является ограничение моторной активности (гиподинамия и гипокинезия), а не этиология.

Разная степень снижения данного показателя – существенная для мышц бедра и незначительная для мышц голени в обеих группах – указывает на то, что определяющую роль играет функция конкретных мышечных групп. Сохранение амплитуды М-ответов практически на уровне нормы (рис. 3а, тренды M IS и M BC) указывает на то, что общее количество мышечных волокон близко соответствующему объему мышечной ткани здоровых подростков. Однако снижение амплитуды ЭМГ при максимальном произвольном напряжении показывает, что активация мышечных

волокон в процессе реализации моторных актов носит изменённый характер.

При исследовании мышц бедра было определено, что снижение амплитуды произвольной ЭМГ коррелирует с падением силы. Для мышц голени характерен тот факт, что момент силы сохранён на уровне здоровых испытуемых в условиях сниженной произвольной ЭМГ высокой частоты, что указывает на поддержание необходимого уровня мышечного сокращения за счёт рекрутирования большего числа двигательных единиц, состоящих из меньшего числа мышечных волокон. Формирование такого рода двигательных единиц в мышцах голени пациентов обеих групп сравнения указывает на ведущую роль сниженного уровня моторной активности детей с ортопедической патологией. Такого рода перестройка двигательных единиц не сопровождается атрофией элементов нейромоторного аппарата, на что указывает сохранность амплитуды М-ответов мышечных индикаторов и значений скорости распространения возбуждения по моторным волокнам *n. peroneus*.

Снижение относительно нормы в обеих группах сравнения средних значений амплитуды Н-ответа *m. gastrocnemius lateralis*, а также показателя $H_{max}/M_{max}\%$ указывают на уменьшение моносинаптической возбудимости соответствующих спинальных мотонейронов, выраженной в большей степени для группы с идиопатическим сколиозом. Это входит в некоторое противоречие с данными литературы относительно повышения возбудимости мотонейронов спинного мозга, иннервирующих мышцы как верхних, так и нижних конечностей [39]. Данное рассогласование отчасти связано с тем, что речь идёт о средних значениях показателей возбудимости, в то время как её характеристики значительно варьируют. Во-вторых, степень возбудимости зависит от метода тестирования. Использование метода Н-рефлекса ограничено небольшим количеством мышц голени и стопы и отражает в большей степени уровень активности аппарата возвратного торможения с участием клеток Реншоу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У подростков с идиопатическим сколиозом снижена функция мышц бедра, и отсутствуют корреляционные связи между величиной деформации позвоночника и значениями асимметрии силовых и активационных характеристик мышц нижних конечностей. Аналогичный характер изменений физиологических параметров, характеризующих функциональное состояние сенсомоторной системы у пациентов с идиопатическим и врождённым сколиозом, может свидетельствовать о том, что причиной наблюдаемых изменений является не этиология заболевания, а недостаточный уровень моторной активности (гиподинамии и гипокинезии) и процессы, связанные с развитием деформации позвоночника.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность

Мы благодарим доктора биологических наук, профессора А.П. Шеина и Г.А. Криворучко за предоставление первичной информации по ЭМГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, Claude de Mauroy J, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018; 13: 3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8
2. Kuznia AL, Hernandez AK, Lee LU. Adolescent idiopathic scoliosis: Common questions and answers. *Am Fam Physician.* 2020; 101(1): 19-23.
3. Trobisch P, Suess O, Schwab F. Idiopathic scoliosis. *Dtsch Arztebl Int.* 2010; 107(49): 875-884. doi: 10.3238/arztebl.2010.0875
4. Stuart L, Weinstein MD. The natural history of adolescent idiopathic scoliosis. *Pediatr Orthop.* 2019; 39(6): S44-S46. doi: 10.1097/BPO.0000000000001350
5. Yagci G, Yakut Y, Simsek E. The effects of exercise on perception of verticality in adolescent idiopathic scoliosis. *Physiother Theory Pract.* 2018; 34(8): 579-588. doi: 10.1080/09593985.2017.1423429
6. Fabry G. Clinical practice: the spine from birth to adolescence. *Eur J Pediatr.* 2009; 168(12): 1415-1420. doi: 10.1007/s00431-009-0998-9
7. de Seze M, Cugy E. Pathogenesis of idiopathic scoliosis: A review. *Ann Phys Rehabil Med.* 2012; 55(2): 128-138. doi: 10.1016/j.rehab.2012.01.003
8. Chwała W, Koziana A, Kasprczyk T, Walaszek R, Płaszewski M. Electromyographic assessment of functional symmetry of paraspinal muscles during static exercises in adolescents with idiopathic scoliosis. *Biomed Res Int.* 2014; 573276. doi: 10.1155/2014/573276
9. Yaman O, Dalbayrak S. Idiopathic scoliosis. *Turk Neurosurg.* 2014; 24: 646-657. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.8838-13.0
10. Latalski M, Danielewicz-Bromberek A, Fatyga M, Latalska M, Krober M, Zwolak P. Current insights into the aetiology of adolescent idiopathic scoliosis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017; 137: 1327-1333. doi: 10.1007/s00402-017-2756-1
11. Paz ACD, Brandao ICS, Silveira EBD, Gomes CR. Morphological and morphometric analysis of paraspinal and intercostal musculature on adolescent idiopathic scoliosis. *J Spine.* 2015; 4: 206. doi: 10.4172/2165-7939.1000206
12. Wajchenberg M, Astur N, Kanak M, Martins DE. Adolescent idiopathic scoliosis: Current concepts on neurological and muscular etiologies. *Scoliosis Spinal Disord.* 2016; 11: 4. doi: 10.1186/s13013-016-0066-y
13. Долганова Т.И., Долганов Д.В., Рябых С.О. Диагностическая информативность огибающей ЭМГ поверхностных паравerteбральных мышц в постуральных стереотипах у пациентов со сколиозом III-IV степени. *Гений ортопедии.* 2018; 24(1): 57-63. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-57-63
14. Herman R, Mixon J, Fisher A, Maulucci R, Stuyck J. Idiopathic scoliosis and the central nervous system: A motor control problem. The Harrington lecture, 1983. Scoliosis research society. *Spine.* 1985; 10(1): 1-14. doi: 10.1097/00007632-198501000-00001
15. Domenech J, García-Martí G, Martí-Bonmatí L, Barrios C, Tormos JM, Pascual-Leone A. Abnormal activation of the motor cortical network in idiopathic scoliosis demonstrated by functional MRI. *Eur Spine J.* 2011; 20(7): 1069-1078. doi: 10.1007/s00586-011-1776-8
16. Yekutieli M, Robin GC, Yarom R. Proprioceptive function in children with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 1981; 6(6): 560-566. doi: 10.1097/00007632-198111000-00006
17. Pingot M, Czernicki J, Kubacki J. Assessment of muscle strength of hip joints in children with idiopathic scoliosis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2007; 9(6): 636-643.
18. Lédio Alves DP, Araújo B. Muscle disorders in adolescent idiopathic scoliosis: Literature review. *Coluna/Columna.* 2016; 15(1): 73-77. doi: 10.1590/S1808-185120161501151839
19. Lin JJ, Chen WH, Chen PQ, Tsao JY. Alteration in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with idiopathic scoliosis. *Spine.* 2010; 35(11): 1151-1157. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181cd5923
20. Zabjek KF, Leroux MA, Coillard C, Prince F, Rivard CH. Postural characteristics of adolescents with idiopathic sco-

liosis. *J Pediatr Orthop.* 2008; 28(2): 218-224. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181651bdc

21. Здоровье матерей, новорождённых, детей и подростков. Развитие подростков. Сайт ВОЗ. URL: https://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/dev/ru/

22. Shchurov VA, Dolganova TI, Dolganov DV. Femoral muscle dynamometer. *Biomedical Engineering.* 2014; 48(1): 30-32. doi: 10.1007/s10527-014-9410-9

23. Shchurov VA, Dolganova TI, Dolganov DV. Device for measuring lower leg muscle strength. *Biomedical Engineering.* 2016; 50(2): 124-127. doi: 10.1007/s10527-016-9602-6

24. Шейн А.П., Криворучко Г.А., Рябых С.О. Реактивность и резистентность спинномозговых структур при выполнении инструментальной коррекции деформаций позвоночника. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2016; 102(12): 1495-1506.

25. Шейн А.П., Сайфутдинов М.С., Криворучко Г.А. Локальные и системные реакции сенсомоторных структур на удлинение и ишемию конечностей. Курган: ДАММИ; 2006.

26. Szwed A, Kolban M, Jalszewski M. Results of SpineCor dynamic bracing for idiopathic scoliosis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2009; 11(5): 427-432.

27. Николаев В.Ф., Барановская И.А., Андриевская А.О. Результаты применения функционально-корректирующего корсета типа Шено в комплексной реабилитации детей и подростков с идиопатическим сколиозом. *Гений ортопедии.* 2019; 25(3): 368-377. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-368-377

28. Pinchuk D, Dudin M, Bekshayey S, Pinchuk O. Peculiarities of brain functioning in children with adolescence idiopathic scoliosis (AIS) according to EEG studies. *Studies in Health Technology and Informatics.* 2012; 176: 87-90.

29. Wang D, Shi L, Chu WCW, Burwell RG, Cheng JCY, Ahuja AT. Abnormal cerebral cortical thinning pattern in adolescent girls with idiopathic scoliosis. *NeuroImage.* 2012; 59(2): 935-942. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.07.097

30. Sahgal V, Shah A, Flanagan N, Schaffer M, Kane W, Subramani V, et al. Morphologic and morphometric studies of muscle in idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand.* 1983; 54: 242-251. doi: 10.3109/17453678308996564

31. Wajchenberg M, Martins DE, Luciano R de P, Puertas EB, Del Curto D, Schmidt B, et al. Histochemical analysis of paraspinal rotator muscles from patients with adolescent idiopathic scoliosis: A cross-sectional study. *Medicine.* 2015; 94(8): e598. doi: 10.1097/MD.0000000000000598

32. Дудин М.Г., Пинчук Д.Ю. *Идиопатический сколиоз: диагностика, патогенез.* СПб.: Человек; 2009.

33. Sharma S, Londono D, Eckalbar WL, Gao X, Zhang D, Mauldin K, et al. A PAX1 enhancer locus is associated with susceptibility to idiopathic scoliosis in females. *Nat Commun.* 2015; 6: 6452. doi: 10.1038/ncomms7452

34. Zhu Z, Tang NL, Xu L, Qin X, Mao S, Song Y, et al. Genome-wide association study identifies new susceptibility loci for adolescent idiopathic scoliosis in Chinese girls. *Nat Commun.* 2015; 6: 8355. doi: 10.1038/ncomms9355

35. Лупандина-Болотова Г.С., Тайбулатов Н.И., Игнатов Д.А., Намазова-Баранова Л.С., Поляков С.Д., Перевозчикова Е.П. Функциональные нарушения при деформациях позвоночника и методы их коррекции. *Вопросы современной педиатрии.* 2015; 14(2): 201-206. doi: 10.15690/vsp.v14i2.1287

36. Yarom R, Robin GC. Muscle pathology in idiopathic scoliosis. *Isr J Med Sci.* 1979; 15: 917-924.

37. Luciano RdP, Puertas EB, Martins DE, Faloppa F, Del Curto D, Reis LM, et al. Adolescent idiopathic scoliosis without limb weakness: A differential diagnosis of core myopathy? *BMC Musculoskelet Disord.* 2015; 16: 179. doi: 10.1186/s12891-015-0629-8

38. Щурова Е.Н., Сайфутдинов М.С., Долганова Т.И., Ахмедова М.А. Исследование особенностей сенсорной системы детей и подростков с врождённым сколиозом. *Современные проблемы науки и образования.* 2020; 5. doi: 10.17513/spno.30164

39. Сампиев М.Т., Лака А.А., Загородний Н.В. Сколиоз. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2008. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-365-374

REFERENCES

1. Negrini S, Donzelli S., Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S., Claude de Mauroy J, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018; 13:3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8

2. Kuznia AL, Hernandez AK, Lee LU. Adolescent idiopathic scoliosis: Common questions and answers. *Am Fam Physician.* 2020; 101(1): 19-23.

3. Trobisch P, Suess O, Schwab F. Idiopathic scoliosis. *Dtsch Arztebl Int.* 2010; 107(49): 875-884. doi: 10.3238/arztebl.2010.0875

4. Stuart L, Weinstein MD. The natural history of adolescent idiopathic scoliosis. *Pediatr Orthop.* 2019; 39(6): S44-S46. doi: 10.1097/BPO.0000000000001350

5. Yagci G, Yakut Y, Simsek E. The effects of exercise on perception of verticality in adolescent idiopathic scoliosis. *Physiother Theory Pract.* 2018; 34(8): 579-588. doi: 10.1080/09593985.2017.1423429

6. Fabry G. Clinical practice: the spine from birth to adolescence. *Eur J Pediatr.* 2009; 168(12): 1415-1420. doi: 10.1007/s00431-009-0998-9

7. de Seze M, Cugy E. Pathogenesis of idiopathic scoliosis: A review. *Ann Phys Rehabil Med.* 2012; 55(2): 128-138. doi: 10.1016/j.rehab.2012.01.003

8. Chwała W, Koziana A, Kasperczyk T, Walaszek R, Płaszewski M. Electromyographic assessment of functional symmetry of paraspinal muscles during static exercises in adolescents with idiopathic scoliosis. *Biomed Res Int.* 2014; 573276. doi: 10.1155/2014/573276

9. Yaman O, Dalbayrak S. Idiopathic scoliosis. *Turk Neurosurg.* 2014; 24: 646-657. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.8838-13.0

10. Latalski M, Danielewicz-Bromberek A, Fatyga M, Latalska M, Krober M, Zwolak P. Current insights into the aetiology of adolescent idiopathic scoliosis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017; 137: 1327-1333. doi: 10.1007/s00402-017-2756-1

11. Paz ACD, Brandao ICS, Silveira EBD, Gomes CR. Morphological and morphometric analysis of paraspinal and intercostal musculature on adolescent idiopathic scoliosis. *J Spine.* 2015; 4: 206. doi: 10.4172/2165-7939.1000206

12. Wajchenberg M, Astur N, Kanas M, Martins DE. Adolescent idiopathic scoliosis: Current concepts on neurological and muscular etiologies. *Scoliosis Spinal Disord.* 2016; 11: 4. doi: 10.1186/s13013-016-0066-y

13. Dolganova TI, Dolganov DV, Riabykh SO. Diagnostic information value of EMG envelope algorithm for superficial paraspinal muscles in postural stereotypes of patients with scoliosis grades III and IV. *Genij Ortopedii.* 2018; 24(1): 57-63. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-57-63. (In Russ.)

14. Herman R, Mixon J, Fisher A, Maulucci R, Stuyck J. Idiopathic scoliosis and the central nervous system: A motor control problem. The Harrington lecture, 1983. Scoliosis research society. *Spine.* 1985; 10(1): 1-14. doi: 10.1097/00007632-198501000-00001

15. Domenech J, García-Martí G, Martí-Bonmatí L, Barrios C, Tormos JM, Pascual-Leone A. Abnormal activation of the motor cortical network in idiopathic scoliosis demonstrated by functional MRI. *Eur Spine J.* 2011; 20(7): 1069-1078. doi: 10.1007/s00586-011-1776-8

16. Yekutieli M, Robin GC, Yarom R. Proprioceptive function in children with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 1981; 6(6): 560-566. doi: 10.1097/00007632-198111000-00006

17. Pingot M, Czernicki J, Kubacki J. Assessment of muscle strength of hip joints in children with idiopathic scoliosis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2007; 9(6): 636-643.

18. Lédio Alves DP, Araújo B. Muscle disorders in adolescent idiopathic scoliosis: Literature review. *Coluna/Columna.* 2016; 15(1): 73-77. doi: 10.1590/S1808-185120161501151839

19. Lin JJ, Chen WH, Chen PQ, Tsao JY. Alteration in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with idiopathic scoliosis. *Spine.* 2010; 35(11): 1151-1157. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181cd5923

20. Zabjek KF, Leroux MA, Coillard C, Prince F, Rivard CH. Postural characteristics of adolescents with idiopathic sco-

liosis. *J Pediatr Orthop.* 2008; 28(2): 218-224. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181651bdc

21. WHO Health of mothers, newborns, children and adolescents. Adolescent development. URL: https://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/dev/ru/ (In Russ.)

22. Shchurov VA, Dolganova TI, Dolganov DV. Femoral muscle dynamometer. *Biomedical Engineering.* 2014; 48(1): 30-32. doi: 10.1007/s10527-014-9410-9

23. Shchurov VA, Dolganova TI, Dolganov DV. Device for measuring lower leg muscle strength. *Biomedical Engineering.* 2016; 50(2): 124-127. doi: 10.1007/s10527-016-9602-6

24. Shein AP, Krivoruchko GA, Ryabykh SO. Reactivity and resistance of the spinal structures during instrumental correction of spinal deformities. *Russian Journal of Physiology.* 2016; 102(12): 1495-1506. (In Russ.)

25. Shein AP, Sajfutdinov MS, Krivoruchko GA. Local and systemic responses of sensorimotor structures to limb elongation and ischemia. Kurgan: DAMMI; 2006. (In Russ.)

26. Szwed A, Kołban M, Jałoszewski M. Results of SpineCor dynamic bracing for idiopathic scoliosis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2009; 11(5): 427-432.

27. Nikolaev VF, Baranovskaya IA, Andrievskaya AO. Results of using a functional corrective Cheneau type brace in complex rehabilitation of children and teenagers with idiopathic scoliosis. *Genij Ortopedii.* 2019; 25(3): 368-377. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-368-377. (In Russ.)

28. Pinchuk D, Dudin M, Bekshayev S, Pinchuk O. Peculiarities of brain functioning in children with adolescence idiopathic scoliosis (AIS) according to EEG studies. *Studies in Health Technology and Informatics.* 2012; 176: 87-90.

29. Wang D, Shi L, Chu WCW, Burwell RG, Cheng JCY, Ahuja AT. Abnormal cerebral cortical thinning pattern in adolescent girls with idiopathic scoliosis. *NeuroImage.* 2012; 59(2): 935-942. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.07.097

30. Sahgal V, Shah A, Flanagan N, Schaffer M, Kane W, Subramani V, et al. Morphologic and morphometric studies of muscle

in idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand.* 1983; 54: 242-251. doi: 10.3109/17453678308996564

31. Wajchenberg M, Martins DE, Luciano R de P, Puertas EB, Del Curto D, Schmidt B, et al. Histochemical analysis of paraspinal rotator muscles from patients with adolescent idiopathic scoliosis: A cross-sectional study. *Medicine.* 2015; 94(8): e598. doi: 10.1097/MD.0000000000000598

32. Dudin MG, Pinchuk DYU. *Idiopathic scoliosis: diagnosis, pathogenesis.* St. Petersburg: Chelovek; 2009. (In Russ.)

33. Sharma S, Londono D, Eckalbar WL, Gao X, Zhang D, Mauldin K, et al. A PAX1 enhancer locus is associated with susceptibility to idiopathic scoliosis in females. *Nat Commun.* 2015; 6: 6452. doi: 10.1038/ncomms7452

34. Zhu Z, Tang NL, Xu L, Qin X, Mao S, Song Y, et al. Genome-wide association study identifies new susceptibility loci for adolescent idiopathic scoliosis in Chinese girls. *Nat Commun.* 2015; 6: 8355. doi: 10.1038/ncomms9355

35. Lupandina-Bolotova GS, Taybulatov NI, Ignatov DA, Namazova-Baranova LS, Polyakov SD, Perevozchikova YP. Functional disorders in the spine deformations and methods for their correction. *Voprosy sovremennoi pediatrii – Current Pediatrics.* 2015; 14(2): 201-206. doi: 10.15690/vsp.v14i2.1287. (In Russ.)

36. Yarom R, Robin GC. Muscle pathology in idiopathic scoliosis. *Isr J Med Sci.* 1979; 15: 917-924.

37. Luciano RdP, Puertas EB, Martins DE, Faloppa F, Del Curto D, Reis LM, et al. Adolescent idiopathic scoliosis without limb weakness: A differential diagnosis of core myopathy? *BMC Musculoskelet Disord.* 2015; 16: 179. doi: 10.1186/s12891-015-0629-8

38. Shchurova EN, Sajfutdinov MS, Dolganova TI, Ahmedova MA. Study of sensory system features of children and adolescents with congenital scoliosis. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2020; 5. doi: 10.17513/spno.30164. (In Russ.)

39. Sampiev MT, Laka AA, Zagorodnij NV. *Scoliosis.* Moscow: GEOTAR-Media; 2008. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-365-374. (In Russ.)

Сведения об авторах

Шкурова Елена Николаевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник научной лаборатории Клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: elena.shurova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0816-1004>

Сайфутдинов Марат Саматович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник научной лаборатории Клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: maratsaif@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7477-5250>

Долганова Тамара Игоревна – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник научной лаборатории коррекции деформаций и укорочения конечностей, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: dti025fd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>

Ахмедова Мехрибан Ахмедовна – аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: marina.ahmedova.90@mail.ru

Горбач Алина Павловна – аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: alinatomilova@mail.ru

Information about the authors

Elena N. Shchurova – Dr. Sc. (Biol.), Leading Research Officer at the Clinical Laboratory of the Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, e-mail: elena.shurova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0816-1004>

Marat S. Saifutdinov – Dr. Sc. (Biol.), Leading Research Officer at the Clinical Laboratory of the Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, e-mail: maratsaif@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7477-5250>

Tamara I. Dolganova – Dr. Sc. (Med.), Leading Research Officer at the Scientific and Clinical Laboratory for Deformity Correction and Lengthening, National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, e-mail: dti025fd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>

Mekhriban A. Akhmedova – Postgraduate, National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, e-mail: marina.ahmedova.90@mail.ru

Alina P. Gorbach – Postgraduate, National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, e-mail: alinatomilova@mail.ru

Статья получена: 26.01.2021. Статья принята: 12.04.2021. Статья опубликована: 15.06.2021.

Received: 26.01.2021. Accepted: 12.04.2021. Published: 15.06.2021.