© Группа авторов, 2018

УДК [612.741.16:616.741]:616.711-007.55

DOI 10.18019/1028-4427-2018-24-1-57-63

Диагностическая информативность огибающей ЭМГ поверхностных паравертебральных мышц в постуральных стереотипах у пациентов со сколиозом III–IV степени

Т.И. Долганова, Д.В. Долганов, С.О. Рябых

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

Diagnostic information value of EMG envelope algorithm for superficial paraspinal muscles in postural stereotypes of patients with scoliosis grades III and IV

T.I. Dolganova, D.V. Dolganov, S.O. Riabykh

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

Если в патогенезе деформаций позвоночника асимметрии тонуса паравертебральных мышц являются непременным условием и имеют диагностическую ценность, то правомерно предположить, что у пациентов с нарастанием степени деформации асимметрии мышечного тонуса должны усиливаться. **Цель**. Определить диагностическую информативность огибающей ЭМГ паравертебральных мышц в постуральных стереотипах у пациентов со сколиозом III–IV степени. **Материалы и методы**. Проведен анализ профилей постуральной асимметрии (компьютерный оптический топограф) и биоэлектрического тонуса (огибающая ЭМГ) паравертебральных мышц у 115 пациентов (6 – 32 года, средний возраст 16,2 ± 6,14 года) со сколиозом III–IV степени (по В.Д. Чаклину) различной этиологии. **Результаты**. В исследованной выборочной совокупности при выраженном асимметричном распределении деформаций позвоночника наблюдается нормальное симметричное распределение профилей асимметрии тонической активности поверхностных паравертебральных мышц. Оперативное исправление деформаций позвоночника и, как следствие, соответствующая коррекция постуральных профилей пациентов не оказывали статистически значимого влияния в ортостатике на распределение качественных и количественных характеристик профилей биоэлектрической активности паравертебральных мышц. Не выявлено сопряженности и специфических отличий в формировании тонической активности паравертебральных мышц в зависимости от профилей постуральной асимметрии и этиологии деформаций. **Выводы**. Предположение, что с нарастанием степени деформации усиливается асимметрия тонуса поверхностных паравертебральных мышц, не подтверждается. У пациентов со сколиозами III–IV степени сопряженность между постуральными и тоническими профилями асимметрии отсутствует, а диагностическая информативность огибающей ЭМГ обнаруживается только индивидуально и, по-видимому, лишь в тех постуральных системах, в которых по причине различных обстоятельств поддержание двигательных стереотипов моторными программами без дополнительного компенсаторного привлечения активности этих мышц невозможно.
Ключевые слова: позвоночник, сколиотические деформации, огибающая ЭМГ, профили постуральной и тонической мышечной асимметрии

Asymmetry of paraspinal muscle tone is incorporated in pathogenesis for spinal deformities having diagnosis information value and it can be hypothesised to be involved in curve aggravation. **Objective** To evaluate diagnostic information value of EMG envelope algorithm for paraspinal muscles in postural stereotypes of patients with scoliosis grades III and IV. **Material and methods** Profiles of postural asymmetry (computer optical topography) and bioelectrical tone (EMG envelope algorithm) of paraspinal muscles were reviewed in 115 patients with scoliosis grades III and IV of different etiology using V.D.Chaklin methodology. The patients aged 6 to 32 years with mean age of 16.2 ± 6.14 years). **Results** The sampling population showed normal symmetrical distribution of profiles in the asymmetry of superficial paraspinal muscle tone with evidently asymmetrical distribution of spinal curve. Surgical elimination of spinal deformity resulting in appropriate correction of postural profiles made no statistically significant impact on orthostatics distributing quantitative and qualitative bioelectrical parameters of paraspinal muscles. No contingency and specific differences were observed in paraspinal muscle tone depending on postural asymmetry and etiology of the curve. **Conclusion** The hypothesis that asymmetry of superficial paraspinal muscle tone aggravates with the curve progression is not supported. No correlation between profiles of postural and muscle tone asymmetry was observed in patients with scoliosis grades III and IV. Diagnostic information value of EMG envelope algorithm is patient-specific and be identified in the postural systems that cannot support motor stereotypes using motor programmes without additional compensation muscle activity due to particular circumstances.
Keywords: spine, scoliosis, envelope EMG, profiles of postural and muscle tone asymmetry

Регистрация электромиографии – один из основных и распространенных инструментальных методов объективного функционального контроля мышечной активности. Являясь удобной количественной величиной измерения, контроль мышечной активности поверхностными электродами не инвазивен и хорошо переносится пациентами [1], но диагностическая актуальность использования ЭМГ в оценке тонической активности в сферах практической медицины либо предается забвению [2, 3], либо по-прежнему остается на уровне поисковых исследований [4].

Одним из поисковых направлений исследований является использование огибающей ЭМГ паравертебральных мышц для оценки степени выраженности болевого синдрома спины [5]. Однако, если в вопросах диагностики острого болевого синдрома спины особых разногласий не наблюдается, то в вопросах диагностики хронического болевого синдрома публикуются порой противоречивые результаты: по данным одних авторов – усиливающиеся проявления ЭМГ-активности регистрируется [6], а по данным других – четкие специфические паттерны ЭМГ-активности не наблюдаются [7].

Долганова Т.И., Долганов Д.В., Рябых С.О. Диагностическая информативность огибающей ЭМГ поверхностных паравертебральных мышц в постуральных стереотипах у пациентов со сколиозом III–IV степени // Гений ортопедии. 2018. Т. 24. № 1. С. 57-63. DOI 10.18019/1028-4427-2018-24-1-57-63

Другое направление исследований – это поиск диагностических критериев в оценке нарушений вертикальной ориентации позвоночника [8, 9, 10]. В области вертебрологии большинство авторов отмечают, что приоритетное использование методики огибающей ЭМГ - это оценка тонуса мышц [11, 12], и в норме для паравертебральных мышц наблюдается мышечное равновесие. При сколиотических деформациях происходят неравномерные изменения функциональных свойств мышц правой и левой сторон туловища, связанных с неодинаковыми биомеханическими условиями их работы. Электромиографические исследования показали, что растянутые мышцы выпуклой стороны генерируют более высокую по амплитуде биоэлектрическую активность, чем мышцы вогнутой стороны, находящиеся в состоянии относительной контрактуры. Это способствует наклону позвоночника в сторону ослабленных мышц и созданию биомеханических условий для дальнейшего прогрессирования деформации позвоночника [13]. В частности, при идиопатическом сколиозе I-II степени регистрируется выраженная асимметрия электромиографической активности паравертебральных мышц больше по выпуклой стороне дуги деформации [14]. В публикациях отсутствуют диагностические критерии, позволяющие дифференцировать асимметрии биоэлектрической активности, обусловленные постуральными потребностями или патологическими процессами. Если асимметричная активность паравертебральных мышц проявляется на ранних стадиях сколиотической деформации и участвует в патогенезе формирования сколиоза, то справедливо утверждение, что с нарастанием степени деформации тоническая асимметрия мышц должна увеличиваться.

Цель исследования: оценить диагностическую информативность огибающей ЭМГ паравертебральных мышц в постуральных стереотипах у пациентов со сколиозом III–IV степени различной этиологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено обследование 115 пациентов (6–32 года, средний возраст 16,2 ± 6,14 года) со сколиозом III–IV степени (по В.Д. Чаклину) различной этиологии, из них у 23 человек – врожденный, у 76 человек – идиопатический, у 3 человек – комбинированный, у 6 – нейрогенный, у 7 – системный. 31 пациент обследован через 6–12 месяцев после первого оперативного вмешательства.

Комплексная оценка формы позвоночника и постуральных параметров туловища (фронтальные профили асимметрии формы туловища) осуществлялась методом компьютерной оптической топографии (г. Новосибирск) при стоянии [15]. Для этого обследуемых пациентов в естественной позе размещали на фоне эталонной плоскости, параллельно ее поверхности в специальном перемещаемом установочном месте.

В ортостатике производилась регистрация огибающей ЭМГ паравертебральных мышц на третьей (элитной) версии диагностической компьютерной установки «Реограф полианализатор РГПА-6/12» (г. Таганрог), включающей опцию записи поверхностных электромиограмм. Интерфейс программы отображал обработанную кривую огибающей ЭМГ, представляющую усредненные величины амплитуды колебаний и их среднеквадратическое отклонение (СКО) по 100 значениям [16]. В зависимости от характеристик полученного с электродов сигнала чувствительность каналов устанавливалась из ряда: 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 50,0; 100,0; 200 мкВ/см при скорости записи 60 мм/сек.

В ортостатике при обследовании пациентов огибающую ЭМГ регистрировали паравертебрально относительно пальпируемых позвонков C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L1, L2, L3. Использовались поверхностные электроды с отводящей поверхностью 20 мм2. Расстояние между электродами 20 мм. Электроды монтировались в пластмассовую рамку, чтобы расстояние между ними не менялось, и было равномерное прижатие к мышце. Рамка прикреплялась к коже лейкопластырем. Отводящие электроды располагались на поверхности кожи справа и слева на расстоянии 4–5 см от позвонков. Полученные результаты представлялись в цифровом и графическом отображении. В норме значения амплитуды огибающей ЭМГ паравертебральных мышц 1–10 Мкв, и допустима асимметрия до 25 % [1]. Для характеристики паравертебральных профилей тонической активности определялись коэффициенты асимметрии (КА) значений амплитуд огибающей ЭМГ по формуле:

$$KA,\%=\frac{\mathrm{dex}(C_7+T_2+\cdots+L_3)-\sin(C_7+T_2+\cdots+L_3)}{\mathrm{dex}(C_7+T_2+\cdots+L_3)+\sin(C_7+T_2+\cdots+L_3)}\times 100, \quad (1)$$

где dex, sin $(C_7 + T_2 + \ldots + L_3)$ – сумма усредненных значений амплитуд активности паравертебральных мышц, регистрируемых справа или слева на уровне соответствующих позвонков. Положительные значения КА отражают правостороннее доминирование тонического профиля асимметрии, а отрицательные значения КА – левостороннее.

При анализе значений огибающей ЭМГ у каждого пациента определялись качественные и количественные характеристики биоэлектрической активности паравертебральных мышц. Традиционно используемые качественные критерии оценок предусматривали сопоставление такой активности с нормативными значениями и характеризовались следующими сочетаниями из комбинации признаков. А именно, тоническая биоэлектрическая активность и величина асимметрии соответствуют значениям нормы; регистрируется только снижение суммарной электрической активности мышц либо только повышение функционального состояния нейромоторного аппарата; наблюдается ирритативное повреждение периферических мотонейронов; тоническая активность соответствует значениям нормы при право- или левосторонних асимметриях более 25 %; право- и левосторонние асимметрии сочетаются со снижением суммарной электрической активности мышц либо с повышением функционального состояния нейромоторного аппарата; ирритативное повреждение периферических мотонейронов сочетается с право- или левосторонними асимметриями. Количественные характеристики биоэлектрической активности в ортостатических стереотипах предусматривали расчет коэффициентов асимметрии профилей биоэлектрической активности паравертебральных мышц. Постуральные (топографические) профили асимметрии (сторонняя локализация деформации) сопоставлялись с тоническими профилями асимметрии по средним значениям СКО огибающей ЭМГ путем сопоставления право- и левосторонних величин и расчетом коэффициента асимметрии (КА) по формуле (1).

Статистическая обработка материала производилась с помощью пакетов анализа данных Microsoft EXEL-2007 и AtteStat [17]. Использовался корреляционный и регрессионный анализ, параметрические методы вариационной и описательной статистики с расчетом средней арифметической – $\overline{X}$, стандартного отклонения – σ, коэффициента вариации – KV. Оценка нормальности распределения осуществлялась по критериям асимметрии, эксцесса, Колмогорова-Смирнова, а достоверность отличий по F-критерию Фишера, t-критерием Стьюдента и χ^2-тестом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ информативности биоэлектрической активности поверхностных паравертебральных мышц с использованием огибающей ЭМГ проводился по результатам распределения их качественных характеристик (табл. 1).

В первом приближении, даже визуально, при существенных различиях в объемах сравниваемых совокупностей проценты частот встречаемости признаков заметно не отличались. Статистическая инструментальная оценка долей такого распределения у пациентов до и после оперативного лечения подтвердила справедливость этого наблюдения. В результате применения χ^2-теста с пороговым уровнем $p < 0{,}01$ получены следующие значения: $\chi^2 = 0{,}561$, $\alpha\chi^2 = 3{,}57$, т.е. частоты встречаемости качественных признаков биоэлектрической активности паравертебральных мышц у пациентов до и после оперативного вмешательства не имели статистически значимых различий. А, следовательно, диагностическая информативность качественных характеристик биоэлектрической активности упомянутых мышц в исследованной комбинации и форме никак не проявилась даже после столь мощного воздействия, каким является оперативная коррекция позвоночника. Кроме того, асимметричное распределение такого не менее важного в постуральной организации качественного признака как право- или левосторонняя локализация деформации далеко не всегда согласовывалось с распределением профилей асимметрии биоэлектрического тонуса паравертебральных мышц (рис. 1, 2).

По данным литературы, у пациентов с идиопатическим сколиозом I–II степени увеличение суммарных значений (мкВ) больше по выпуклой стороне кривой [14], но, по нашим данным, у пациентов со сколиозами III–IV степени распределение профилей биоэлектрической активности паравертебральных мышц по амплитуде огибающей ЭМГ составило 57 % с право- и 43 % с левосторонним доминированием, а по СКО огибающей ЭМГ – 62 % и 38 % соответственно. По данным компьютерной оптической топографии в постуральных стереотипах при С-образном сколиозе в 89 %, при S-образном в 91 % наблюдений преобладала правосторонняя локализация вершины сколиотической дуги деформации, что согласуется с данными литературы, полученными на больших выборочных совокупностях идиопатического сколиоза [19, 20]. Это значит, что проценты несовпадений по сторонам локализации между профилями основной дуги деформации и профилями асимметрии биоэлектрического тонуса паравертебральных мышц составили по амплитуде огибающей ЭМГ – 33 %, а по СКО огибающей ЭМГ – 28 %. Кроме того, у четырех пациентов, которых после оперативного лечения с интервалом в 1 месяц удалось обследовать дважды, выявлены существенные и диаметрально противоположные изменения в профиле асимметрии биоэлектрического тонуса поверхностных паравертебральных мышц.

Результаты количественных оценок профилей биоэлектрической асимметрии паравертебральных мышц по амплитуде и СКО огибающей ЭМГ представлены в таблице 2. С увеличением объемов выборочных совокупностей $\overline{X}$ по амплитуде ЭМГ уменьшаются, т.е. с ростом числа наблюдений количество право- и левосторонних профилей в выборочных совокупностях выравнивается, а, следовательно, мы имеем дело с t-распределением, которое в общей массе, с увеличением объема выборки, однозначно должно приближаться к «нормальному» [18].

Таблица 1

Частота выявления качественных признаков биоэлектрической активности паравертебральных мышц по амплитуде огибающей ЭМГ у пациентов со сколиозом III–IV степени

Качественный признак	Частота выявления, %	
	до операции (n = 84)	после операции (n = 31)
тоническая активность и величина асимметрии соответствуют значениям нормы	19,0 % (16 чел.)	16,1 % (5 чел.)
тоническая активность соответствует значениям нормы, асимметрия более 25 % D > S	4,7 % (4 чел.)	9,6 % (3 чел.)
тоническая активность соответствует значениям нормы, асимметрия более 25 % S > D	4,7 % (4 чел.)	9,6 % (3 чел.)
двустороннее снижение суммарной электрической активности мышц	4,7 % (4 чел.)	9,6 % (3 чел.)
сочетание снижения суммарной электрической активности мышц и правосторонней асимметрии	1,2 % (1 чел.)	0
сочетание снижения суммарной электрической активности мышц и левосторонней асимметрии	2,4 % (2 чел.)	3,2 % (1 чел.)
двустороннее повышение функционального состояния нейромоторного аппарата	25,0 % (21 чел.)	19,4 % (6 чел.)
сочетание повышения функционального состояния нейромоторного аппарата и правосторонней асимметрии	8,3 % (7 чел.)	6,4 % (2 чел.)
сочетание повышения функционального состояния нейромоторного аппарата и левосторонней асимметрии	7,1 % (6 чел.)	12,9 % (4 чел.)
ирритативное повреждение периферических мотонейронов	10,7 % (9 чел.)	9,6 % (3 чел.)
сочетание ирритативного повреждения периферических мотонейронов и правосторонней асимметрии	8,3 % (7 чел.)	3,2 % (1 чел.)
сочетание ирритативного повреждения периферических мотонейронов и левосторонней асимметрии	3,6 % (3 чел.)	0

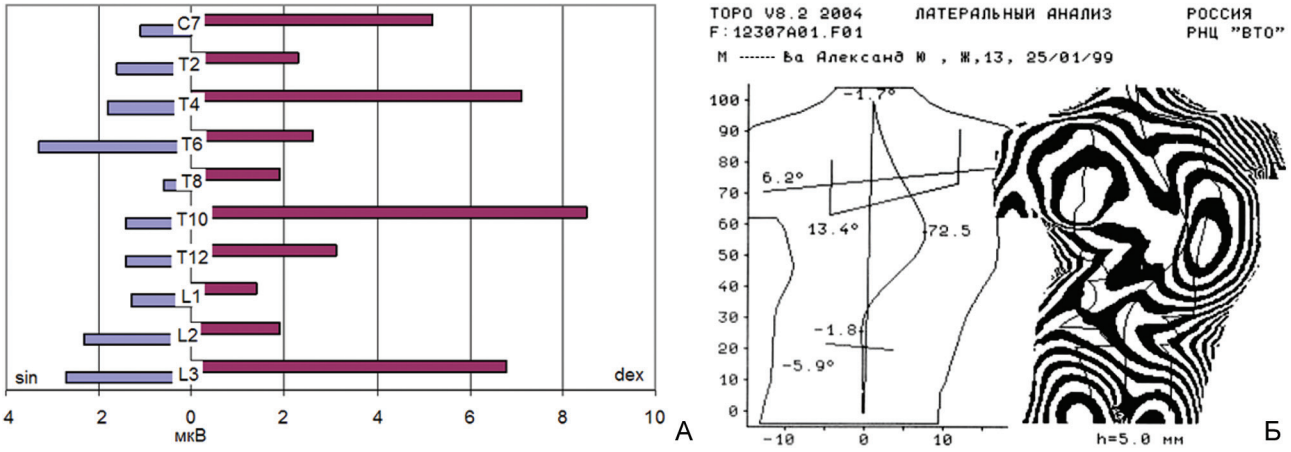

Рис. 1. Пациент М., 13 лет. Системный грудопоясничный кифосколиоз IV степени (по В.Д.Чаклину) на фоне нейрофиброматоза I типа. По данным рентгенографии – вершина Th_{2-3}, угол 42º, открыт вправо, Th_{11} – 120º, открыт влево, L_4 – 75º, открыт вправо. Графическое отображение огибающей ЭМГ паравертебральных мышц (А) – функциональное состояние нейромоторного аппарата соответствует значениям нормы, но асимметрия значений огибающей ЭМГ 57,1 % D > S (увеличение на стороне вершины искривления). Топограмма (Б): фронтальная проекция – сколиоз IV степени, горизонтальная – ротированный позвоночник (выраженное скручивание), сагиттальная – другие нарушения

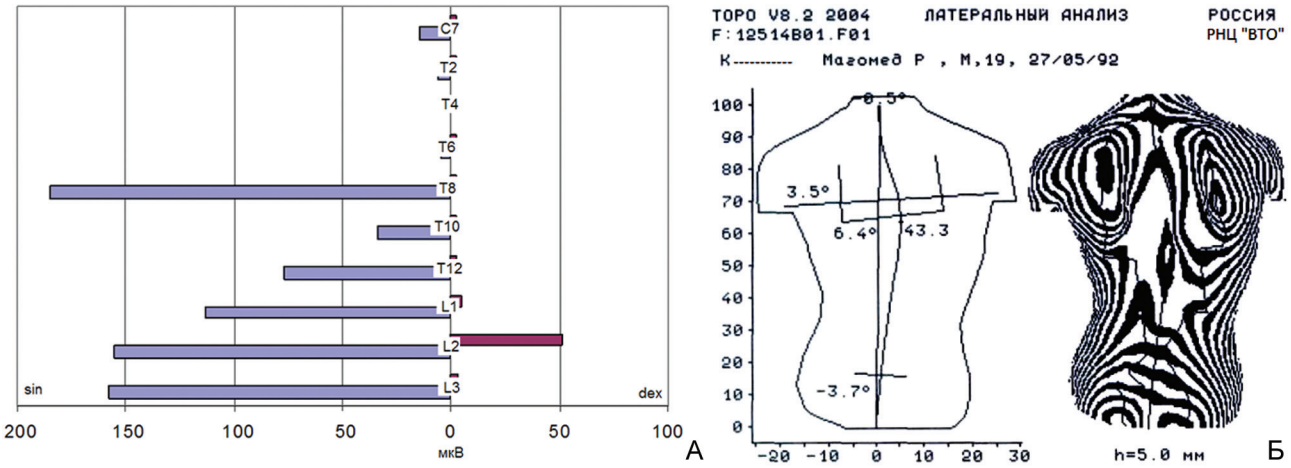

Рис. 2. Больной К., 19 лет. Идиопатический грудопоясничный сколиоз грудного отдела позвоночника III степени (по В.Д. Чаклину). По данным R–графии – вершина Th_{8-9}, угол 45º, открыт вправо. Графическое отображение значений огибающей ЭМГ паравертебральных мышц (А) – асимметрия значений 89,8 % S > D, патологическое проявление активности мышц в покое на уровне поясничного отдела позвоночника, амплитуда потенциалов фасцикулляций 150–170 мкВ, характерна для ирритативного повреждения периферических мотонейронов. Топограмма (Б): фронтальная проекция – сколиоз III степени, горизонтальная – ротированная осанка (умеренное скручивание), сагиттальная – плоская спина (деформация позвоночника)

Таблица 2

Показатели профилей асимметрии биоэлектрической активности паравертебральных мышц у пациентов со сколиозом III–IV степени разной этиологии

Этиология	Амплитуда огибающей ЭМГ			СКО амплитуды огибающей ЭМГ		
	$\overline{X}$	Σ	KV	$\overline{X}$	σ	KV
До лечения						
Идиопатический (n = 52)	2,79	50,9	1824,4	0,05	0,56	1120,0
Врожденный (n = 19)	6,99	32,2	460,6	0,04	0,43	1075,0
Нейрогенный (n = 4)	49,6	12,3	24,8	0,59	0,28	47,5
Системный (n = 6)	40,3	24,6	61,0	0,03	0,24	800
Комбинированный (n = 3)	-16,4	41,4	252,4	-0,11	0,81	736,4
Правосторонняя асимметрия	n = 66			n = 71		
	35,8	25,9	72,3	0,37	0,29	78,4
Левосторонняя асимметрия	n = 49			n = 44		
	-33,6	27,3	81,2	-0,42	0,32	76,2
6-12 месяцев после I этапа оперативного лечения						
Идиопатический (n = 24)	12,7	35,7	281,1	0,08	0,48	600,0
Врожденный (n = 4)	-10,7	36,1	337,4	-0,22	0,36	163,6

Примечание: $\overline{X}$ – среднее арифметическое значение показателя в выборочной совокупности; σ – среднее квадратическое отклонение показателя асимметрии в выборочной совокупности; KV – коэффициент вариации показателя асимметрии в выборочной совокупности.

Проверка распределения профилей асимметрии биоэлектрической активности паравертебральных мышц по амплитуде ЭМГ у пациентов до лечения (n = 84) и у пациентов после оперативного лечения (n = 31) с пороговым значением $p < 0,01$ по модифицированным критериям Колмогорова, Смирнова, асимметрии и эксцесса (табл. 3) показала, что гипотеза нормальности не отклоняется, т.е. исследуемые показатели подчиняются «закону нормального распределения» до и после оперативного лечения.

Несмотря на различия в числе наблюдений, выборочные совокупности с право- и левосторонними профилями тонической асимметрии практически не отличались по скалярным средним величинам и одинаково варьировали. Согласно F-критерию Фишера получены следующие результаты: для профилей асимметрии биоэлектрического тонуса мышц по амплитуде огибающей ЭМГ $p = 0,704$, а по СКО огибающей ЭМГ $p = 0,487$ для $\alpha = 0,01$, т.е. не только скалярные величины средних значений оказались практически равнозначны (табл. 2), но и нулевая гипотеза о равенстве генеральных дисперсий на уровне значимости 0,01 принимается. Ситуация с распределением профилей тонической асимметрии паравертебральных мышц по СКО амплитуде огибающей ЭМГ несколько отличалась, хотя его производные от амплитуды значения имели сильную положительную корреляционную связь ($r = 0,861$, $n = 2330$, $p < 0,001$) и наиболее точно описывались уравнением полиномиальной регрессии 2 степени:

$$Y = -0,0017X^2 + 1,16X - 1,79$$

при $n = 2330$, $R^2 = 0,8344$, $p < 0,001$,

где Y – значение СКО огибающей ЭМГ, X – значение амплитуды огибающей ЭМГ в каждой точке регистрации, полученные при посткомпьютерной обработке записи.

Таблица 3

Расчетные значения критериев нормальности распределения

Тесты нормальности распределения	До лечения (n = 84), α = 0,01				После лечения (n = 31), α = 0,01			
	амплитуда огибающей ЭМГ		СКО амплитуды огибающей ЭМГ		амплитуда огибающей ЭМГ		СКО амплитуды огибающей ЭМГ	
	Стат. кр	p	Стат. кр	p	Стат. кр	p	Стат. кр	p
Модифицированный тест Колмогорова	0,058	0,331	0,091	0,091	0,102	0,460	0,132	0,178
Модифицированный тест Смирнова	0,039	0,102	0,069	0,211	0,102	0,331	0,132	0,087
Коэффициент асимметрии	-0,285	0,138	-0,422	0,054	0,179	0,334	0,425	0,156
Критерий эксцесса	-0,408	0,216	-0,454	0,191	0,295	0,359	-0,186	0,410

Примечание: Стат. кр – статистика критерия, p – статистический уровень значимости.

ОБСУЖДЕНИЕ

Данные литературы свидетельствуют, что при идиопатическом сколиозе I–II степени регистрируется выраженная асимметрия электромиографической активности по СКО [21] и амплитуде огибающей ЭМГ паравертебральных мышц с наибольшей активностью их в позе «стоя» [14, 22]. Сделанное в актуальности предположение, что с нарастанием степени деформации асимметрия мышц должна увеличиваться, не подтвердилось. Кроме того, статистический анализ полученного материала показал, что сопряженность отсутствует не только в степенях асимметрии между профилями, но и в их распределении.

Согласно представлениям теории функциональных систем, устойчивость ортостатической позы обеспечивается сенсорной многоуровневой интеграцией (зрительной, вестибулярной и проприоцептивной системами) и моторной координацией [23]. Для диагностики состояния сложноорганизованных систем, к которым относятся и постуральные, сформулированы основные принципы, в соответствии с которыми самым необходимым условием является выявление сущностных (диагностически информативных) параметров объекта [24]. Согласно же полученным результатам, показатели активности поверхностных паравертебральных мышц не отражают сущностных характеристик постуральной системы и тех состояний, в которых реализуется ее приспособительная роль в виде двигательных стереотипов. Поскольку сопряженности между профилями асимметрии не выявлено, то, следовательно, участие поверхностных паравертебральных мышц в приспособительных двигательных стереотипах не детерминировано. Следовательно, активация этих мышц моторными программами реализуется случайным образом по остаточному принципу, когда ввиду тех или иных обстоятельств, необходимых усилий только со стороны глубоких паравертебральных мышц для удовлетворения постуральных потребностей недостаточно. Видимо, по этой причине распределение профилей асимметрии биоэлектрического тонуса поверхностных мышц до и после оперативного лечения оставалось неизменным по качественным и количественным критериям. Мы считаем, что организация ортостатической активности очень индивидуальна, и приспособительные профили биоэлектрической асимметрии в большей степени связаны с текущими постуральными потребностями, нежели с какими-либо патогенетическими механизмами деформации позвоночника. Убедительным подтверждением тому стали результаты обследований пациентов после оперативного лечения патологии позвоночника: из четырех обследованных пациентов с интервалом в один месяц профили асимметрии биоэлектрического тонуса паравертебральных мышц сменились на диаметрально противоположные, без каких-либо видимых причин независимо от локализации деформации. Т.е., моторные программы, регулирующие биоэлектрическую активность анализируемых мышц, и у этих пациентов определялись не патогенезом заболевания, а зависели от текущих постуральных потребностей и просто обеспечивали их адаптацию к условиям окружающей среды. Поэтому судить по асимметриям активности отдельных элементов столь сложной постуральной системы о её состоянии так же неправомерно, как по асимметриям освещённости нескольких жидких кристаллов на мониторе судить о качестве изображения. Следует отме-

тить, что в норме сенсорные и моторные асимметрии наблюдаются повсеместно и бывают выражены очень заметно в результате спортивной специализации, но их проявления не являются основаниями для ассоциации последних с какими-либо патогенетическими механизмами [25].

Асимметрии – лишь внешние характерные проявления жизнедеятельности, а вот какими механизмами они обусловлены – приспособительными или патогенетическими – вопрос особого, индивидуального рассмотрения. По данным литературы, в виде динамических упражнений используются различные варианты функциональных проб, которые выявляют несостоятельность отдельных моторных стереотипов только у конкретных пациентов и сопровождаются компенсаторным вовлечением в приспособительный процесс дополнительных двигательных элементов [26, 27]. Во всяком случае, поиски индивидуальных диагностически информативных элементов активности с использованием огибающей ЭМГ лежат и в основе применения биологической обратной связи для лечения идиопатического и диспластического сколиозов I–II степени [28, 29].

ВЫВОДЫ

1. Предположение, что у пациентов со сколиозами III–IV степени с нарастанием тяжести деформации должна усиливаться асимметрия биоэлектрической активности паравертебральных мышц не подтверждается, а сопряженность отсутствует не только в степенях асимметрии между профилями, но и в их распределении до и после оперативного лечения.

2. Моторные программы, регулирующие биоэлектрическую активность поверхностных паравертебральных мышц, определяются постуральными потребностями и не связаны с патогенетическими механизмами сколиотических деформаций.

3. В скрининговых обследованиях для выявления сколиотических деформаций оценка тонуса поверхностных паравертебральных мышц методом огибающей ЭМГ не информативна.

4. Только при индивидуальном мониторинге с проведением функциональных проб данная методика имеет диагностическую значимость и может быть использована для решения частных клинических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Команцев В.Н., Заболотных В.А. Методические основы клинической электронейромиографии : рук. для врачей. СПб. : Лань, 2001. 349 с.
2. Биоэлектрическая активность мышц брюшной стенки у больных с послеоперационными грыжами / А.М. Сазонов, Т.С. Лагутина, К.П. Грачев, А.И. Коршунов // Вестн. хирургии. 1977. № 4. С. 21–24.
3. Электромиография брюшной стенки в диагностике острых заболеваний органов живота / В.И. Алатырев, Л.Н. Зефиров, О.С. Кочнев, Р.Ш. Шаймарданов ; науч. ред. Л.Н. Зефиров. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1978. 102 с.
4. Оценка функции мышц передней брюшной стенки после герниопластики / А.Д. Тимошин, А.Л. Шестаков, О.И. Загорулько, А.Г. Инаков // Бюл. сибир. медицины. 2007. № 3. С. 62-64.
5. Hodges P. Changes in sensorimotor control in low back pain. In: Fundamentals of musculoskeletal pain / Eds. T. Graven–Nielsen, L. Arendt–Nielsen, S. Mense. Seattle: IASP Press, 2008. P. 445-453.
6. Surface electromyography assessment of back muscle intrinsic properties / C. Larivière, A.B. Arsenault, D. Gravel, D. Gagnon, P. Loisel // J. Electromyogr. Kinesiol. 2003. Vol. 13, No 4. P. 305-318.
7. Alexiev A.R. Some differences of the electromyographic erector spinae activity between normal subjects and low back pain patients during the generation of isometric trunk torque // Electromyogr. Clin. Neurophysiol. 1994. Vol. 34, No 8. P. 495-499.
8. Вовк М.И., Галян Е.Б., Иванов В.В. Информационная технология диагностики и коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника // Кибернетика и вычисл. техника. 2012. № 4. С. 41-50.
9. Кашуба В.А. Биомеханика осанки : монография. Київ : Наук. світ, 2002. 278 с.
10. Потапчук А.А., Дидур М.Д. Осанка и физическое развитие детей. Программы диагностики и коррекции нарушений. СПб. : Речь, 2001. С. 4–82.
11. Larivière C., Arsenault A.B. On the use of EMG-ratios to assess the coordination of back muscles // Clin. Biomech. 2008. Vol. 23, No 10. P. 1209-1219. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2008.09.001.
12. Cram J.R. The history of surface electromyography // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2003. Vol. 28, No 2. P. 81-91.
13. Электродиагностика и электростимуляция мышц туловища у детей, больных сколиозом : метод. рекомендации. / И.А. Ильясевич, О.С. Казарин, О.И. Шалатонина, О.В. Шалатонин. Минск : ИВЦ Минфин БССР, 1991. 20 с.
14. Paraspinal muscle activities of patients with scoliosis after spine fusion: an electromyographic study / W.W. Lu, Y. Hu, K.D. Luk, K.M. Cheung, J.C. Leong // Spine. 2002. Vol. 27, No 11. P. 1180-1185.
15. Сарнадский, В.Н., Фомичев Н.Г. Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии : пособие для врачей. Новосибирск, 2000. 43 с.
16. Съем и обработка биоэлектрических сигналов : учеб. пособие / К.В. Зайченко, О.О. Жаринов, А.Н. Кулин, Л.А. Кулыгина, А.П. Орлов ; под ред. К.В. Зайченко. СПб., 2001. 95 с.
17. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C+++. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
18. Лакин Г.Ф. Биометрия. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1990. 350 с.
19. Lonstein L.E. Natural history and school screening for scoliosis // Orthop. Clin. North Am. 1988. Vol. 19, No 2. P. 227-237.
20. Rinsky L.A., Gamble J.G. Adolescent idiopathic scoliosis // West. J. Med. 1988. Vol. 148, No 2. P. 182-191.
21. Evaluation of myoelectric activity of paraspinal muscles in adolescents with idiopathic scoliosis during habitual standing and sitting / G. Kwok, J. Yip, M.C. Cheung, K.L. Yick // Biomed. Res. Int. 2015. Vol. 2015. P. 958450. DOI: 10.1155/2015/958450.
22. Gram M.C., Hasan Z. The spinal curve in standing and sitting postures in children with idiopathic scoliosis // Spine.1999. Vol. 24, No 2. P. 169-177.
23. Храмцов П.И. Сухарев А.Г. Методология коррекции осанки у детей и подростков // Вестн. РАМН. 2003. № 8. С. 14-19.
24. Кучерявенко С.В., Быстрова А.Н. Диагностический анализ как методология познания сложных систем : монография. Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2012. 131 с.
25. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Медицина, 1988. 240 с.
26. Muscle coordination and force variability during static and dynamic tracking tasks / J.H. Svendsen, A. Samani, K. Mayntzhusen, P. Madeleine // Hum. Mov. Sci. 2011. Vol. 30, No 6. P.1039-1051. DOI: 10.1016/j.humov.2011.02.001.
27. Farahpour N., Younesian H., Bahrpeyma F. Electromyographic activity of erector spinae and external oblique muscles during trunk lateral bending and axial rotation in patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy subjects // Clin. Biomech (Bristol, Avon). 2015. Vol. 30, No 5. P. 411-417. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2015.03.018.
28. Богданов О.В., Пинчук Д.Ю., Михайленок Е.Л. Эффективность различных форм сигналов обратной связи в ходе лечения сеансами функционального биоуправления // Физиология человека. 1990. Т. 16, № 1. С. 13-17.
29. Пинчук Д.Ю., Дудин М.Г. Биологическая обратная связь по электромиограмме в неврологии и ортопедии : справочное рук. СПб. : Человек, 2002. 120 с.

REFERENCES

1. Komantsev V.N., Zabolotnykh V.A. Metodicheskie osnovy klinicheskoi elektroneiromiografii : ruk. dlia vrachei [Methodological basis of clinical electroneuromyography: guide for physicians]. SPb., Lan', 2001, 349 p. (In Russ.)
2. Sazonov A.M., Lagutina T.S., Grachev K.P., Korshunov A.I. Bioelektricheskaia aktivnost' myshts briushnoi stenki u bol'nykh s posleoperatsionnymi gryzhami [Bioelectrical activity of abdominal wall muscles in patients with postoperative herniae]. *Vestn. Khirurgii*, 1977, no. 4, pp. 21-24. (In Russ.)
3. Alatyrev V.I., Zefirov L.N., Kochnev O.S., Shaimardanov R.Sh.; sci. ed. Zefirov L.N. Elektromiografiia briushnoi stenki v diagnostike ostrykh zabolevanii organov zhivota [Abdominal wall electromyography in diagnosing acute diseases of abdominal organs]. Kazan', Izd-vo Kazan. Un-ta, 1978, 102 p. (In Russ.)
4. Timoshin A.D., Shestakov A.L., Zagorul'ko O.I., Inakov A.G. Otsenka funktsii myshts perednei briushnoi stenki posle gernioplastiki [The evaluation of anterior abdominal wall muscles after gernioplasty]. *Biul. Sibir. Meditsiny*, 2007, no. 3, pp. 62-64. (In Russ.)
5. Hodges P. Changes in sensorimotor control in low back pain. In: Graven–Nielsen T., Arendt–Nielsen L., Mense L., eds. Fundamentals of musculoskeletal pain. Seattle, IASP Press, 2008, pp. 445-453.
6. Larivière C., Arsenault A.B., Gravel D., Gagnon D., Loisel P. Surface electromyography assessment of back muscle intrinsic properties. *J. Electromyogr. Kinesiol*., 2003, vol. 13, no. 4, pp. 305-318.
7. Alexiev A.R. Some differences of the electromyographic erector spinae activity between normal subjects and low back pain patients during the generation of isometric trunk torque. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol*., 1994, vol. 34, no. 8, pp. 495-499.
8. Vovk M.I., Galian E.B., Ivanov V.V. Informatsionnaia tekhnologiia diagnostiki i korrektsii narushenii vertikal'noi orientatsii pozvonochnika [Information technology of diagnosing and correction of the spine vertical orientation disorders]. *Kibernetika i Vychisl. Tekhnika*, 2012, no. 4, pp. 41-50. (In Russ.)
9. Kashuba V.A. Biomekhanika osanki: monografiia [Posture biomechanics: monograph]. Kiïv, Nauk. svit, 2002, 278 p. (In Russ.)
10. Potapchuk A.A., Didur M.D. Osanka i fizicheskoe razvitie detei. Programmy diagnostiki i korrektsii narushenii [Posture and physical development of children. Programs of disorder diagnosis and correction]. SPb., Rech', 2001, pp. 4-82. (In Russ.)
11. Larivière C., Arsenault A.B. On the use of EMG-ratios to assess the coordination of back muscles. *Clin. Biomech*., 2008, vol. 23, no. 10, pp. 1209-1219. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2008.09.001.
12. Cram J.R. The history of surface electromyography. Appl. Psychophysiol. Biofeedback, 2003, vol. 28, no. 2, pp. 81-91.
13. Il'iasevich I.A., Kazarin O.S., Shalatonina O.I., Shalatonin O.V. Elektrodiagnostika i elektrostimuliatsiia myshts tulovishcha u detei, bol'nykh skoliozom: metod. rekomendatsii [Electrical diagnosing and electrical stimulation of trunk muscles in children with scoliosis: technique manual]. Minsk, IVTs Minfin BSSR, 1991, 20 p. (In Russ.)
14. Lu W.W., Hu Y., Luk K.D., Cheung K.M., Leong J.C. Paraspinal muscle activities of patients with scoliosis after spine fusion: an electromyographic study. *Spine*, 2002, vol. 27, no. 11, pp. 1180-1185.
15. Sarnadskii, V.N., Fomichev N.G. Monitoring deformatsii pozvonochnika metodom komp'iuternoi opticheskoi topografii: posobie dlia vrachei [The spine deformity monitoring by the method of computed optical topography: guide for physicians]. Novosibirsk, 2000, 43 p. (In Russ.)
16. Zaichenko K.V., Zharinov O.O., Kulin A.N., Kulygina L.A., Orlov A.P.; Ed. Zaichenko K.V. S"em i obrabotka bioelektricheskikh signalov: ucheb. posobie [The removal and processing of bioelectric signals: manual]. SPb., 2001, 95 p. (In Russ.)
17. Gaidyshev I.P. Reshenie nauchnykh i inzhenernykh zadach sredstvami Excel, VBA i S/S+++ [Solution of scientific and engineering problems using Excel, VBA and C/C+++ facilities]. SPb., BKhV-Peterburg, 2004, 512 p. (In Russ.)
18. Lakin G.F. Biometriia [Biometry]. 4th ed. M., Vysshaia Shkola, 1990, 350 p. (In Russ.)
19. Lonstein L.E. Natural history and school screening for scoliosis. *Orthop. Clin. North Am*., 1988, vol. 19, no. 2, pp. 227-237.
20. Rinsky L.A., Gamble J.G. Adolescent idiopathic scoliosis. *West. J. Med*., 1988, vol. 148, no. 2, pp. 182-191.
21. Kwok G., Yip J., Cheung M.C., Yick K.L. Evaluation of myoelectric activity of paraspinal muscles in adolescents with idiopathic scoliosis during habitual standing and sitting. *Biomed. Res. Int*., 2015, vol. 2015, pp. 958450. DOI: 10.1155/2015/958450.
22. Gram M.C., Hasan Z. The spinal curve in standing and sitting postures in children with idiopathic scoliosis. *Spine*, 1999, vol. 24, no. 2, pp. 169-177.
23. Khramtsov P.I. Sukharev A.G. Metodologiia korrektsii osanki u detei i podrostkov [Methodology of posture correction in children and adolescents]. *Vestn. RAMN*, 2003, no. 8, pp. 14-19. (In Russ.)
24. Kucheriavenko S.V., Bystrova A.N. Diagnosticheskii analiz kak metodologiia poznaniia slozhnykh sistem: monografiia [Diagnostic analysis as a methodology of understanding complex systems: monograph]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo Politekhn. Un-ta, 2012, 131 p. (In Russ.)
25. Bragina N.N., Dobrokhotova T.A. Funktsional'nye asimmetrii cheloveka [Human Functional Asymmetries]. 2nd ed. M., Meditsina, 1988, 240 p. (In Russ.)
26. Svendsen J.H., Samani A., Mayntzhusen K., Madeleine P. Muscle coordination and force variability during static and dynamic tracking tasks. *Hum. Mov. Sci*., 2011, vol. 30, no. 6, pp.1039-1051. DOI: 10.1016/j.humov.2011.02.001.
27. Farahpour N., Younesian H., Bahrpeyma F. Electromyographic activity of erector spinae and external oblique muscles during trunk lateral bending and axial rotation in patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy subjects. *Clin. Biomech*. (Bristol, Avon), 2015, vol. 30, no. 5, pp. 411-417. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2015.03.018.
28. Bogdanov O.V., Pinchuk D.Iu., Mikhailenok E.L. Effektivnost' razlichnykh form signalov obratnoi sviazi v khode lecheniia seansami funktsional'nogo bioupravleniia [The effectiveness of feedback signal different forms in the process of treatment by functional biocontrol sessions]. *Fiziologiia Cheloveka*, 1990, vol. 16, no. 1, pp. 13-17. (In Russ.)
29. Pinchuk D.Iu., Dudin M.G. Biologicheskaia obratnaia sviaz' po elektromiogramme v nevrologii i ortopedii: spravochnoe ruk. [Biological feedback by electrical myogram in neurology and orthopaedics: reference manual]. SPb., Chelovek, 2002, 120 p. (In Russ.)

Рукопись поступила 07.07.2017

Сведения об авторах:

1. Долганова Тамара Игоревна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, лаборатория коррекции деформаций и удлинения конечностей, ведущий научный сотрудник, д. м. н.
2. Долганов Дмитрий Владимирович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, лаборатория коррекции деформаций и удлинения конечностей, старший научный сотрудник, к. б. н.
3. Рябых Сергей Олегович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», г. Курган, Россия, руководитель лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, д. м. н.; Email: rso_@mail.ru

Information about the authors:

1. Tamara I. Dolganova, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, leading researcher
2. Dmitrii V. Dolganov, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, senior researcher
3. Sergei O. Riabykh, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Head of the Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery; Email: rso_@mail.ru