



ПЛАСТИЧНОСТЬ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И КОМПЕНСАТОРНО-ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА У ПАЦИЕНТОВ СО СКОЛИОЗОМ I–II СТЕПЕНИ

В.В. Бутуханов¹, Е.В. Неретина²

¹Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии ВСНЦ СО РАМН, Иркутск

²Иркутская областная детская клиническая больница

Цель исследования. Изучение особенностей функционального состояния нервно-мышечной системы у детей со сколиозом I–II ст. в зависимости от пластичности нейродинамических процессов центральной нервной системы (ЦНС).

Материал и методы. Обследованы пациенты 15–18 лет с правосторонним поясничным сколиозом I–II ст. Функциональное состояние коры больших полушарий оценивали по данным ЭЭГ лобно-затылочного отведения, мышц поясничного отдела позвоночника — по показателям ЭМГ *m. erectum spinae*. Определяли усилие, морфофункциональную реорганизацию двигательных единиц, дифференциальную диагностику первично-мышечных заболеваний и дисфункции мотонейронов или их аксонов.

Результаты. Среди испытуемых выделили группы с низкой, средней и высокой пластичностью центральных механизмов саморегуляции функций. Данные ЭМГ-исследования показали, что максимальное мышечное усилие достигается у пациентов с высокой пластичностью нейродинамических процессов. Независимо от пластичности ЦНС частота исследуемой мышцы изменяется в маленьком диапазоне.

Заключение. У лиц с высокой пластичностью нейродинамических процессов в двигательную активность вовлекается большее число двигательных единиц, увеличены плотность мышечных волокон, число фазических двигательных единиц, уменьшено число мотонейронов и увеличено число мышечных волокон в каждой двигательной единице.

Ключевые слова: пластичность нейродинамических процессов ЦНС, двигательные единицы, мотонейроны, мышечные волокна, сколиоз.

NERVOUS SYSTEM PLASTICITY AND MUSCULOSKELETAL SYSTEM COMPENSATORY ADJUSTMENT IN PATIENTS WITH GRADE I–II SCOLIOSIS

V.V. Butukhanov, E.V. Neretina

Objective. To study peculiarities of the functional state of neuromuscular system in children with grade I–II scoliosis depending on plasticity of neurodynamic processes in the central nervous system (CNS).

Material and Methods. Patients with right-sided lumbar grade I–II scoliosis aged from 15 to 18 years were examined. Functional state of cerebral cortex was evaluated by EEG of fronto-occipital lead, and that of the lumbar spine muscles — by EMG of *m. erectum spinae*. The effort, morphofunctional reorganization of motor units, differential diagnosis of primary muscular diseases, and dysfunction of motoneurons or their axons were determined.

Results. Groups of patients with low, moderate, and high plasticity of central mechanisms of self-regulation of functions were isolated. Findings of EMG study showed that maximum muscular effort is reached in patients with high plasticity of neurodynamic processes. The frequency of the examined muscle response varies within a small range, irrespective of the CNS plasticity.

Conclusion. High plasticity of neurodynamic processes is associated with greater number of motor units involved into motor activity, higher density of muscle fibers, greater number of phasic motor units, and lesser number of motoneurons and greater number of muscle fibers within each motor unit.

Key Words: plasticity of neurodynamic processes of the central nervous system, motor unit, motoneurons, muscle fibers, scoliosis.

Hir. Pozvonoc. 2010;(1):33–37.

В.В. Бутуханов, д-р мед. наук, проф., ведущ. науч. сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии и ортопедии; Е.В. Неретина, канд. мед. наук, зав. отделением ЛФК и массажа.

Установлено, что индивидуальные возможности адаптации, пластичности и компенсации организма находятся в прямой зависимости от взаимодействия соматических и вегетативных функций. У лиц с высоким уровнем взаимодействия соматических функций с симпатической нервной системой адаптация к экстремальным условиям протекает успешно, с парасимпатической нервной системой — адаптационные реакции вялые или в некоторых случаях отсутствуют [1].

Изучая закономерности адаптации двигательной системы, В.П. Казначеев [3] выделил два крайних вида адаптивного реагирования, обусловленных конституционно-генетическими особенностями человека, — «спринтеры» и «стайеры». Первые хорошо переносят большие нагрузки, но действуют кратковременно, вторые хорошо переносят длительные нагрузки, но средние по силе. Несмотря на то что стратегия поведения генетически детерминирована, автор допускает, что под влиянием внешних факторов эти варианты могут поддаваться коррекции.

В последние годы прослеживается тенденция к изучению функциональных показателей организма в зависимости от пластичности нейродинамических процессов центральной нервной системы (ЦНС). Обнаруже-

на определенная взаимосвязь между пластичностью центральных механизмов и динамическими перестройками в различных физиологических системах. Следует заметить, что в рассматриваемых работах [5, 6] не проводился анализ особенностей функционального состояния мышечной системы в зависимости от пластичности центральных механизмов ЦНС.

Цель исследования — изучение особенностей функционального состояния нервно-мышечной системы у детей со сколиозом I–II ст. в зависимости от пластичности нейродинамических процессов ЦНС.

Материал и методы

Обследованы пациенты 15–18 лет с правосторонним поясничным сколиозом I–II ст. Функциональное состояние коры больших полушарий оценивали по данным ЭЭГ лобно-затылочного отведения. Обработку результатов осуществляли с помощью электронно-вычислительного комплекса по методике, разработанной в отделе экологической физиологии НИИ экспериментальной медицины РАМН [6]. По ЭЭГ проводили вариационное распределение ритмов дельта (1,5–3,5 Гц), тета (3,6–7,5 Гц), альфа-1 (7,6–9,5 Гц), альфа-2 (9,6–12,5 Гц), бета-1 (12,6–17,5 Гц)

и бета-2 (17,6–30 Гц). Определяли тип пластичности нейродинамических процессов. По структуре граф переходных вероятностей основных ритмов ЭЭГ среди испытуемых выделили три индивидуально-типологические группы с различной пластичностью центральных механизмов саморегуляции функций: с низким типом пластичности нейродинамических процессов ЦНС (I) — 18 пациентов ($15,9 \pm 1,5$ лет), со средним (II) — 17 ($16,3 \pm 0,7$ лет), с высоким (III) — 14 ($16,5 \pm 0,6$ лет).

Функциональное состояние мышц поясничного отдела позвоночника оценивали по показателям ЭМГ *m. erectum spinae*. Определяли мощность биопотенциалов мышцы при ее максимальном изотоническом сокращении в течение 10 с (оценка мышечного усилия) [9], отношение высоких частот к низким (оценка миодистрофических изменений в мышцах). ЭМГ-метод эффективен не только в диагностике нервно-мышечных заболеваний, но и при изучении морфофункциональной реорганизации двигательных единиц (ДЕ) [6, 10]. Выявляли отношение максимальной мощности биопотенциалов при максимальном изотоническом сокращении мышц в течение 10 с к средней частоте (дифференциальная

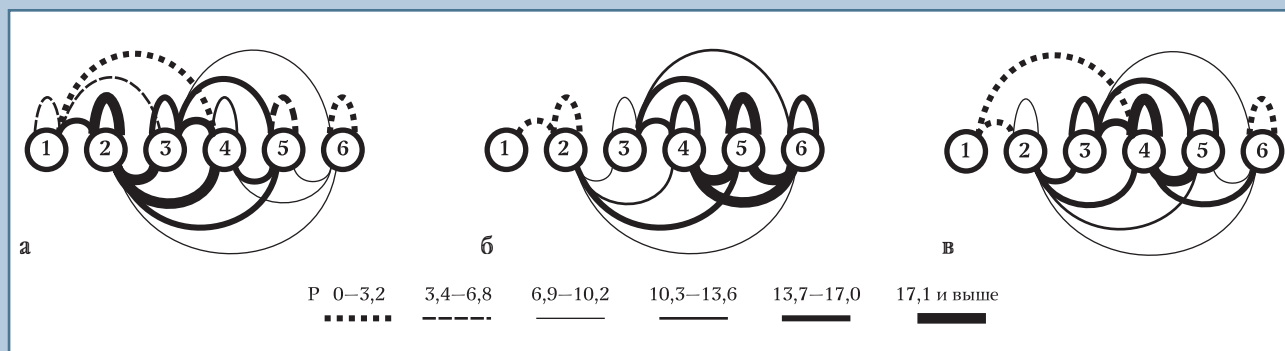


Рис. 1

Графическое отображение вероятности переходов ритмов с низкой (а), средней (б) и высокой (в) пластичностью нейродинамических процессов центральной нервной системы: 1 – дельта; 2 – тета; 3 – альфа-1; 4 – альфа-2; 5 – бета-1; 6 – бета-2

диагностика первично-мышечных заболеваний и дисфункции мотонейронов или их аксонов) [2]. Определяли вариационное распределение частот ЭМГ в диапазонах от 15,0 до 25,0 Гц и от 25,1 до 70,0 Гц.

Диапазон 15,0–25,0 Гц обусловлен разрядом тонических ДЕ типа 1 — медленные, устойчивые к утомлению, обладающие оксидативным типом обмена. Диапазон 25,1–70,0 Гц обусловлен разрядом фазических ДЕ типа 2А — обладающие оксидативно-гликолитическим обменом и 2Б — обладающие гликолитическим обменом [2].

Статистическая обработка включала оценку среднего арифметического, доверительного интервала. Для характеристики межгрупповых различий применяли t-критерий Стьюдента и U-критерий Вилкоксона — Манна — Уитни. Достоверным считали уро-

вень значимости $P < 0,05$. Графическое оформление и представление результатов обработки первичных данных выполнены в программе «Excel 2000».

Результаты

Для индивидуально-типологической группы I характерна высокая вероятность перехода тета- в тета-ритм (тета-ядро), а также высокая вероятность его перехода в альфа-1- и альфа-2-ритмы (рис. 1а).

Для группы II характерна высокая вероятность перехода бета- в бета-ритм (бета-ядро) и бета-ритм в альфа-2-ритм (рис. 1б).

Для группы III характерна высокая вероятность перехода альфа- в альфа-ритм (альфа-ядро), а также высокая вероятность его перехода в альфа- и бета-ритм (рис. 1в).

В табл. 1 представлено распределение мощности ритмов ЭЭГ у лиц с низкой, средней и высокой пластичностью нейродинамических процессов.

Исследование максимальной мощности, развиваемой *m. erectum spinae* у больных сколиозом I–II ст. в течение 10 с, показало, что максимальное мышечное усилие достигается у лиц с высокой пластичностью нейродинамических процессов. Причем выявлена следующая закономерность: максимальное мышечное усилие ниже у лиц со средним типом пластичности ЦНС по сравнению с лицами с низкой и высокой пластичностью нервной системы (табл. 2).

Анализ отношения максимальной мощности к средней частоте ЭМГ при 10-секундном максимальном напряжении спинальной мышцы показал достоверные отклоне-

Таблица 1

Распределение ритмов ЭЭГ у пациентов со сколиозом I–II ст. с разной пластичностью нейродинамических процессов, % ($M \pm m$)

Пластичность	Дельта (1,5–3,5 Гц)	Тета (3,6–7,5 Гц)	Альфа-1 (7,6–9,5 Гц)	Альфа-2 (9,6–12,5 Гц)	Бета-1 (12,6–25,0 Гц)	Бета-2 (25,1–70,0 Гц)
Низкая	6,6 ± 2,6	25,3 ± 0,9	27,4 ± 4,2	18,6 ± 2,4	12,1 ± 2,5	5,0 ± 1,6
Средняя	1,9 ± 0,5	11,7 ± 0,4	15,5 ± 1,9	19,4 ± 2,1	26,5 ± 3,3	22,3 ± 3,0
Высокая	2,0 ± 0,6	15,8 ± 0,1	21,0 ± 2,3	31,3 ± 2,6	19,5 ± 1,8	10,3 ± 1,6

Таблица 2

Распределение показателей ЭМГ *m. erectum spinae* в группах пациентов со сколиозом I–II ст. с разной пластичностью нейродинамических процессов ($M \pm m$)

Показатели	Пластичность					
	низкая (n = 18)		средняя (n = 14)		высокая (n = 17)	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа
Максимальная мощность ЭМГ за 10 с, мкВ	597 ± 46	570 ± 40	539 ± 46*	497 ± 47	650 ± 45**	611 ± 59**
Средняя частота ЭМГ за 10 с, Гц	29,20 ± 0,68	28,60 ± 0,55	28,80 ± 0,80	27,70 ± 0,80	29,70 ± 0,65*	28,90 ± 0,70*
Средняя амплитуда ЭМГ за 10 с, мкВ	1050 ± 130	1103 ± 115	977 ± 87	954 ± 21*	1200 ± 79**	1277 ± 24**
Отношение средней мощности к частоте ЭМГ за 10 с, отн. ед.	36,00 ± 4,30	38,60 ± 4,30	33,90 ± 3,40	34,40 ± 4,30	40,40 ± 3,50**	44,30 ± 1,53**
Отношение средних величин высокой частоты к низкой за 10 с, отн. ед.	1,51 ± 0,18	1,43 ± 0,24	1,41 ± 0,21	1,26 ± 0,20	1,65 ± 0,23*	1,52 ± 0,23*

* $P < 0,05$ между II и I группой, между III и II группой;

** $P < 0,05$ между III с I и II группами.

ния у лиц с высокой пластичностью ЦНС по сравнению с лицами с низкой и средней пластичностью. Сохраняется установленная закономерность: величина отношения мощности к частоте самая высокая у лиц с высокой пластичностью ЦНС и самая низкая — со средней пластичностью ЦНС (табл. 2).

Исследование средней частоты ЭМГ, развиваемой *m. erectum spinae* у больных сколиозом I–II ст. в течение 10 с, которая отражает не только рекрутирование новых ДЕ, но и стратегию увеличения усилия [11], показало, что, независимо от пластичности ЦНС, частота исследуемой мышцы изменяется в очень маленьком диапазоне. Достоверные различия были зарегистрированы только между группами со средней и высокой пластичностью (между вогнутой и выпуклой сторонами позвоночника).

В то же время сохраняется указанная закономерность: средняя частота ЭМГ повышается в группах в той же последовательности (средняя — низкая — высокая пластичность).

Анализ средней амплитуды ЭМГ мышцы спины показал значительные различия между группами. Самая высокая средняя амплитуда ЭМГ *m. erectum spinae* при 10-секундном максимальном мышечном напряжении зарегистрирована в группе с высокой пластичностью ЦНС, и самая низкая — в группе со средней пластичностью. Достоверные различия этого показателя были между группой больных с высокой пластичностью и группами с низкой и средней пластичностью ЦНС. Существенной разницы в амплитуде ЭМГ между вогнутой и выпуклой сторонами позвоночника не наблюдали. Остается неизменной градация амплитуды по величине ЭМГ: самая высокая в группе с высокой пластичностью ЦНС, низкая — в группе со средней пластичностью (табл. 2).

Результаты исследования отношения высокой частоты к медленной частоте ЭМГ указали на достоверные различия значений между этими показателями у лиц с высокой пластичностью по сравнению с лицами со средней

пластичностью ЦНС при 10-секундном максимальном напряжении мышц спины. Сохраняется ранее установленная закономерность: величина отношения высокой частоты ЭМГ к низкой самая большая у лиц с высокой пластичностью и самая малая — у лиц со средней пластичностью ЦНС.

Обсуждение

В активности мотонейронов, управляющих сокращением мышц, отражена структура моторных команд от всех уровней моторной системы. Нисходящих — по экстрапирамидному (направленному на автоматическое поддержание позы или ее сохранение) и по пирамидному (активность произвольного управления) пути. Исследование параметров ЭМГ *m. erectum spinae* при максимальном ее сокращении в течение 10 с у больных с правосторонним поясничным сколиозом I–II ст. показало, что у лиц с высокой пластичностью нейродинамических процессов ЦНС регистрируется максимальная биоэлектрическая активность мышцы. Минимальная активность — у лиц со средней пластичностью ЦНС с вогнутой стороны позвоночника. С выпуклой стороны позвоночника эта закономерность повторяется. Мощность ЭМГ зависит как от частоты разряда ДЕ, так и от амплитуды, отражая суммарную площадь, занимаемую ДЕ между электродами. Установлено, что мощность биоэлектрической активности значительно коррелирует с мышечным усилием, коэффициент корреляции достигает 0,98 и может использоваться для оценки мышечного усилия [5].

Увеличение силы сокращения мышцы сопровождается увеличением частоты разрядов ДЕ до 20–30 имп/с и вовлечением в активность все новых низкопороговых и высокопороговых ДЕ. Обращают на себя внимание низкие колебания частотного диапазона между группами (несмотря на это, остаются достоверные различия между группой с высокой и средней пластичностью), сохраняется следующая закономерность: самая высокая час-

тота ЭМГ у лиц с высокой пластичностью ЦНС, самая низкая — у людей со средней пластичностью. Таким образом, можно предположить, что у лиц с высокой пластичностью ЦНС при выполнении двигательного акта вовлекается большее число ДЕ по сравнению с другими группами. Величину средней частоты можно использовать для изучения стратегии увеличения усилия в различных мышцах [7].

Анализ амплитуды ЭМГ мышц спины показал значительные различия между группами. Самая высокая средняя амплитуда ЭМГ *m. erectum spinae* при 10-секундном максимальном мышечном напряжении зарегистрирована в группе с высокой пластичностью ЦНС, самая низкая — в группе со средней пластичностью. Остается неизменной градация амплитуды по величине ЭМГ: самая высокая — в группе с высокой пластичностью ЦНС, низкая — в группе со средней пластичностью. Амплитуда поверхностной ЭМГ может зависеть от плотности мышечных волокон, длительности потенциала ДЕ [2] и их синхронизации. Синхронизация ДЕ больше отражает процессы утомления при длительном изотоническом сокращении мышц [9]. Учитывая, что при максимальном 10-секундном напряжении мышц спины возможность возникновения утомления мала, с большей вероятностью представляется, что увеличение амплитуды ЭМГ мышц связано с увеличением плотности мышечных волокон. Таким образом, можно предположить, что плотность мышечных волокон *m. erectum spinae* самая высокая у лиц с высокой пластичностью, а самая низкая — у лиц со средней пластичностью ЦНС.

Анализ вариационного распределения частот ЭМГ исследуемой мышцы показал, что удельный вес высоких частот ЭМГ выше у лиц с высокой пластичностью ЦНС и смещается в сторону низких частот у лиц с низкой пластичностью к лицам со средней пластичностью ЦНС. Показано, что диапазон 15,0–25,0 Гц обусловлен разрядом тонических ДЕ типа 1 [2].

Диапазон 25,1–70,0 Гц обусловлен рядом фазических ДЕ типа 2А и 2Б [2]. Динамика отношения высоких частот ЭМГ к медленным, относящимся к разрядам фазических и тонических мышечных волокон, позволяет оценить морфофункциональную реорганизацию ДЕ и может быть использована при оценке миодистрофических изменений в мышцах [10].

Анализ отношения мощности к частоте показал, что максимальное значение зарегистрировано у лиц с высокой пластичностью нервной системы, а минимальное — у лиц со средней пластичностью. Мощность ЭМГ зависит как от частоты разряда ДЕ, так и от амплитуды, отражая суммарную площадь, занимаемую ДЕ между электродами. Отношение максимальной мощности к частоте ЭМГ является косвенным показателем суммарной средней величины длительности потенциала ДЕ, входящих в зону регистрации.

Увеличение длительности потенциала ДЕ связано с уменьшением числа мотонейронов и увеличением числа мышечных волокон в каждой ДЕ.

Уменьшение длительности связано с уменьшением количества мышечных волокон в составе ДЕ [2].

Выводы

1. Анализ ЭМГ *m. erectum spinae* при ее максимальном сокращении в течение 10 с у больных сколиозом I–II ст. показал, что максимальные значения мощности биоэлектрической активности мышцы регистрируется у лиц с высокой и минимальные — у лиц со средней пластичностью ЦНС как с вогнутой, так и с выпуклой стороны позвоночника.
2. Зарегистрированы незначительные различия величины средней частоты между группами с сохранением закономерности: самая высокая средняя частота ЭМГ зарегистрирована у лиц с высокой и самая низкая — у лиц со средней пластичностью ЦНС. У лиц с высокой пластичностью нервной системы при выполнении двигательного акта вовлекается в активность боль-

шее число ДЕ по сравнению с другими группами.

3. Амплитуда ЭМГ мышц спины отличается вариабельностью. Самая высокая средняя амплитуда ЭМГ *m. erectum spinae* при 10-секундном мышечном напряжении зарегистрирована в группе с высокой и самая низкая — в группе со средней пластичностью ЦНС. Остается неизменной градация амплитуды по величине ЭМГ: самая высокая в группе с высокой пластичностью ЦНС, низкая — в группе со средней пластичностью.
4. Было установлено, что количество быстрых мышечных волокон в *m. erectum spinae* достоверно больше в группе с высокой пластичностью по сравнению с группой со средней пластичностью ЦНС.
5. Анализ отношения мощности к частоте ЭМГ, отражающей суммарную величину длительности потенциала ДЕ, показал, что максимальное значение отношения — у лиц с высокой пластичностью, минимальное — у лиц со средней пластичностью ЦНС.

Литература

1. Бутуханов В.В. Системный анализ и пути оптимизации восстановительных процессов у больных с повреждением спинного мозга: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1988.
2. Гехт Б.М., Касаткина М.И., Самойлова М.И. и др. Электромиография в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Таганрог, 1997.
3. Казначеев В.П. Проблемы адаптации человека к географическим, климатическим и производственным условиям // Всесоюз. конф. по адаптации человека к различным географическим, климатическим и производственным условиям. Новосибирск, 1977. Т. 1. С. 3–11.
4. Романов С.П., Алексанян З.А., Лысков Е.Б. Характеристики возрастной динамики моторной системы человека // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 4. С. 82–94.
5. Сидоров Ю.А. Индивидуально типологические аспекты психофизиологических реакций человека на экстремальные факторы среды // Журн. экологии человека. 1994. Т. 1. № 1. С. 16–26.
6. Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А. Основные механизмы саморегуляции мозга. Л., 1990.
7. Bigland-Ritchie B., Cafarelli E.J., et al. Human e.m.g. and motoneuron discharge rates during sustained submaximal contractions // J. Physiol. (GR. Brit.). 1986. Vol. 371. P. 54–59.
8. Fortier P.A. Use of spike triggered averaging of muscle activity to quantify inputs to motoneuron pools // J. Neurophysiol. 1994. Vol. 72. P. 248–265.
9. Kelly M., Garlick D. Correlation of electrical activity and tension of human forelimb and trunk muscles // Proc. Austral. Physiol. and Pharmacol. Soc. 1987. Vol. 18. P. 55–61.
10. Nandedkar S.D., Barkhaus P.E., Charles A. Multi-motor unit action potential analysis (MMA) // Muscle & Nerve. 1995. Vol. 18. P. 1155–1166.
11. Solomonov M., Baten C., Smit J., et al. Electromyogram power spectra frequencies associated with motor unit recruitment strategies // J. Appl. Physiol. 1990. Vol. 68. P. 1177–1185.

Адрес для переписки:

Бутуханов Владимир Васильевич
664003, Иркутск, ул. Борцов Революции, 1,
ars-nataliya@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 30.11.2007