

УДК 616.711-007.55-022.17

Е. В. СОШНИКОВА

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СУПРАСПИНАЛЬНЫХ СТРУКТУР У ПАЦИЕНТОВ СО СКОЛИОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОЗВОНОЧНИКА IV СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Минск, Беларусь

(Поступила в редакцию 03.02.2014)

Введение. Спинальный мозг (СМ) выполняет важную интегративную функцию и осуществляет связь головного мозга с эффекторами и рецепторными аппаратами. При изменении вертебро-медуллярных взаимоотношений [8] в результате разнообразных заболеваний нарушается функциональное единство позвоночника и СМ, что сопровождается развитием в СМ не только локальных нейродеструктивных изменений, но и дистантных нарушений функции в системе восходящих и нисходящих нервных путей. В основе данного явления лежит механизм обратной связи, который существует на всех уровнях центральной нервной системы (ЦНС) между афферентным и эфферентным звеном двигательного анализатора.

Аксиомой является вопрос о существовании сложного процесса селекции сенсорной информации, доходящей до отдельных участков коры головного мозга, механизм которого зависит от анатомической целостности периферического нервно-мышечного аппарата и функциональной активности проводящих систем и воспринимающих структур мозга [16, 20, 21]. С учетом изложенного выше особое значение придается изучению механизмов формирования адекватного сенсорного обеспечения и коррекции двигательной недостаточности при нарушении вертебро-медуллярных взаимоотношений.

Среди деформаций позвоночника наиболее распространенным является идиопатический сколиоз (ИС). Многочисленные данные литературы убедительно доказывают участие нервной системы в развитии ИС. По мнению ряда авторов [1, 3, 7, 11, 18], одним из ведущих механизмов развития ИС является первичная патология ЦНС, которая приводит к нарушению нормального нейротрофического обеспечения процессов роста позвоночника и окружающих тканей, что, в свою очередь, сопровождается дисфункцией эндохондриального костеобразования и приводит к несоответствию анатомических соотношений между позвоночником и СМ. Нарушение вертебро-медуллярных взаимоотношений сопровождается изменением характера нормального потока афферентной импульсации от СМ в высшие отделы ЦНС. Дефицит афферентации определяет степень реализации нисходящих сигналов от альфа-мотонейронов к скелетным мышцам. Длительное асимметричное изменение тонуса паравертебральных мышц является одним из ведущих звеньев формирования ИС. В ходе электрофизиологических исследований нервно-мышечного аппарата у больных ИС показано, что асимметричный режим функционирования билатеральных мышц характерен не только для параспинальной мускулатуры, но и для дыхательных мышц, мышц шеи, грудной клетки и живота, т. е. имеет место генерализованный характер нервно-мышечных нарушений, распространяющихся за пределы сколиотического искривления позвоночника [4, 10]. Имеющие место различия в рефлекторной деятельности больных ИС указывают на наличие сегментарной рефлекторной расторможенности, которая формируется в результате изменения супраспинальных влияний у пациентов с ИС. Сведения о том, что первичной причиной в деятельности СМ при сколиозе являются супраспинальные структуры, содержатся в исследованиях [6, 11, 12], в которых показаны существенные отличия параметров электроэнцефалограммы здоровых и больных ско-

лиозом детей. Наблюдаемые отличия являются отражением регуляторных дисфункций в деятельности стволовых и дизэнцефальных структур головного мозга, которые нарастают по мере выраженности заболевания. Однако патогенетическая роль супраспинальных изменений в процессах формирования деформации позвоночника до сих пор обсуждается.

Среди способов современной нейрофизиологической диагностики наиболее информативными являются методы, основанные на регистрации и анализе параметров вызванных потенциалов (ВП) различной модальности. Указанные методики дают возможность получать информацию о состоянии проводимости глубинных нервных структур спинного и головного мозга [2, 17].

Цель работы – электрофизиологическая оценка функционального состояния супраспинального отдела центральной нервной системы у пациентов со сколиотической деформацией позвоночника.

Материалы и методы исследования. Электрофизиологические наблюдения выполнены у 50 пациентов (возраст от 14 до 18 лет) с идиопатическим (дисплатическим) сколиозом IV степени тяжести с основной дугой искривления позвоночника в грудном отделе справа от 40 до 150° (измерение по J. A. Cobb). Учитывая значительность углового интервала, обследуемые были распределены по группам: I группа – пациенты, имевшие деформацию позвоночника с углом искривления 41–60° ($n = 15$), II – 61–90° ($n = 15$), III – 91–120° ($n = 10$), IV – 121–150° ($n = 10$). Клиническое и лучевое обследование с применением магнитно-резонансной и рентгеновской компьютерной томографии не выявило признаков компрессии нервных структур СМ у обследуемых. Всем пациентам выполнялась хирургическая коррекция деформации позвоночника (зав. нейрохирургического отделения № 1 С. В. Макаревич). Сроки обследования: фиксированные периоды наблюдения до и после операции. Группу контроля составили 10 здоровых лиц того же возраста.

Для оценки проводимости нисходящих путей СМ осуществляли регистрацию моторных ответов (МО) мышц кисти (*m. thenar*) в ответ на магнитную стимуляцию: транскраниальную (ТМС) и корешковую (КМС).

Магнитную стимуляцию осуществляли по стандартной методике в положении больного сидя. При проведении ТМС индуктор располагали над теменной областью черепа, при проведении КМС – на уровне остистых отростков С6–С7 тел позвонков. При анализе параметров МО выбирали ответ с максимальной амплитудой (от пика до пика) и минимальным латентным периодом. Рассчитывали показатель времени центрального моторного проведения (ВЦМП), который является характеристикой скорости моторного проведения импульса на участке от коры головного мозга до соответствующих двигательных центров на уровне шейного утолщения СМ. ВЦМП определяли как разность латентных периодов МО, полученных при ТМС и КМС.

Для оценки проводимости восходящих путей СМ осуществляли регистрацию соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) в ответ на электрическое раздражение *n. medianus* в области запястья и *n. tibialis* в области медиальной лодыжки. При стимуляции *n. medianus* использовали стандартную схему отведения на трех уровнях: периферическом (N_9) – в области плечевого сплетения (точка Эрба), спинальном (N_{11} – N_{13}) – в проекции шейного утолщения, корковом (N_{20} – P_{25}) – в проекции коркового представительства верхней конечности [5]. При стимуляции *n. tibialis* использовали стандартную схему отведения ССВП на трех уровнях: периферическом (P_f) – в подколенной ямке, спинальном (N_{22}) – в проекции поясничного утолщения, корковом (P_{38} – N_{45}) – в проекции коркового представительства нижней конечности. Анализировали следующие параметры ССВП: амплитуду (мкВ), латентный период (мс) и время центрального афферентного проведения (мс) на участке шейных, грудных и пояснично-крестцовых сегментов (CCT – central conduction time).

Для оценки проводящих свойств зрительных афферентов на корковом уровне использовали методику зрительных вызванных потенциалов (ЗВП). Регистрацию ЗВП ($n = 15$) проводили в ответ на светодиодную вспышку, как более удобную и воспроизводимую методику, требующую минимального участия пациента [14, 19]. При регистрации ЗВП электроды размещали согласно международной схеме «10–20»: активные – над затылочной областью в точках *O1* и *O2*, референтный электрод – в точке *Cz*, заземляющий – в точке *Fpz*. В качестве стимула использовали

светодиодную вспышку, подаваемую монокулярно с помощью специальных очков. Эпоха анализа при регистрации составила 500 мс, число усреднений – 200.

Используемое оборудование: нейроусреднитель Nicolet Select (США) в комплексе с магнитным стимулятором Magstim 200² (Великобритания) и компьютерным зрительным стимулятором Visual Stimulator-2015 (США).

Результаты и их обсуждение. Согласно полученным результатам, в контрольной группе параметры МО находились в пределах стандартных значений, соответствующих данным литературы [9]. Статистическая обработка данных не выявила билатеральных различий в этой группе.

У пациентов со сколиотической деформацией позвоночника IV степени тяжести анализ параметров МО выявил межгрупповые различия по сравнению с контролем. Полученные электрофизиологические данные показали, что у больных ИС, имевших деформацию позвоночника с углом основных дуг до 90° (I и II группы) параметры МО мышц кисти находились в пределах контрольных значений или отклонялись от таковых в основном за счет уменьшения амплитуды МО ($P > 0,05$), что указывало на относительное снижение проводимости эфферентных путей СМ по аксональному типу.

У пациентов III и IV групп снижение амплитуды было более выраженным и в среднем составляло 15–20 % (см. таблицу). В норме амплитуда МО одной и той же мышцы при ТМС и КМС изменяется в 2 раза, что отражает более высокую чувствительность мотонейронов коры головного мозга по сравнению с корешками соответствующего сегментарного уровня к воздействию магнитного поля. Данные таблицы показывают, что соотношение амплитуд моторных ответов при ТМС и КМС (A1/A2) в контрольной группе равно 2, что свидетельствует о снижении МО на 50 % при КМС и соответствует литературным сведениям [13, 23].

Средние значения амплитуды моторных ответов мышц кисти

Группа	Амплитуда, мВ		Коэффициент A1/A2
	A1	A2	
Контроль	2,5 ± 0,3	1,2 ± 0,4	2
I группа:			
а	2,1 ± 0,8	1,5 ± 0,7	1,4
б	2,3 ± 0,9	1,7 ± 0,6	1,4
II группа:			
а	2,0 ± 0,8	1,2 ± 0,7	1,6
б	2,3 ± 1,3	1,4 ± 0,8	1,6
III группа:			
а	1,7 ± 0,5*	1,1 ± 0,5	1,5
б	1,8 ± 0,9	1,1 ± 0,4	1,6
IV группа:			
а	1,3 ± 0,7*	1,1 ± 0,7	1,2
б	1,5 ± 0,9*	0,9 ± 0,8	1,6

Примечание. A1 – амплитуда МО при транскраниальной магнитной стимуляции; A2 – амплитуда МО при корешковой магнитной стимуляции; а – выпуклая сторона деформации позвоночника; б – вогнутая сторона; * – достоверные изменения при $P < 0,05$ по *t*-критерию Стьюдента по сравнению с контролем.

Как видно из таблицы, снижение коэффициента A1/A2 при сколиозе до 1,3–1,5 происходит преимущественно за счет угнетения амплитуды МО при ТМС (A1), и, как показывают статистические данные, указанное изменение A1 достоверно на правой стороне, соответствующей выпуклости основного искривления позвоночника в III и IV группах, а также на стороне вогнутости в IV группе. Отмеченные изменения МО мышц верхних конечностей могут указывать на признаки моторной недостаточности СМ на участке шейных сегментов.

Снижение амплитуды корковых МО сопровождалось одновременным увеличением латентного времени. Интервалы изменения моторной проводимости СМ на уровне шейных сегментов представлены на рис. 1.

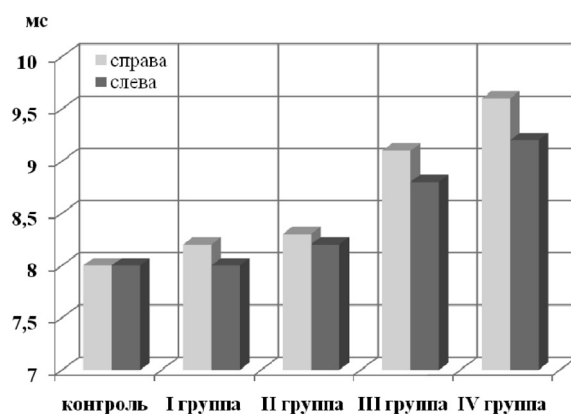


Рис. 1. Изменение времени центрального моторного проведения импульса у пациентов со сколиотической деформацией позвоночника IV степени тяжести на участке шейных сегментов

Как видно из рис. 1, изменение величины ВЦМП на участке шейных сегментов СМ характеризовалось закономерным увеличением в зависимости от тяжести основного искривления позвоночника и варьировалось от $8,2 \pm 1,2$ до $9,6 \pm 1,4$ мс ($P < 0,05$) при норме $8,0 \pm 0,5$ мс.

Характер билатеральной асимметрии параметров МО мышц верхних конечностей коррелировал с направлением дуги искривления в грудном и поясничном отделах позвоночника: доминирующее снижение моторной проводимости СМ определяли на выпуклой стороне сколиотической деформации. Такое снижение может являться следствием нарушения баланса восходящего потока афферентной проприоцептивной импульсации в кору головного мозга, отражающим различное функциональное состояние нервно-мышечного аппарата на выпуклой и вогнутой сторонах.

При оценке функционального состояния афферентных путей выявлено, что у всех пациентов определяется недостаточность сенсорной функции СМ и супраспинальных структур головного мозга. Анализ данных ССВП, зарегистрированных при стимуляции *n. tibialis* нижней конечности, показал, что у пациентов с углом искривления до 90° имеется незначительное снижение амплитуды ССВП-пику и показателя ССТ, которое составило $16,9 \pm 0,7$ мс (в норме – $16,6 \pm 1,6$ мс). Степень колебания выявленных электрофизиологических параметров свидетельствовала об отсутствии нарушения афферентной проводимости СМ. У пациентов с углом искривления свыше 90° , несмотря на отсутствие МРТ-признаков поражения СМ, снижение амплитуды ССВП, изменение формы потенциала, отклонения его параметров вызванных ответов были более выраженными. Так, изменение ССТ варьировалось от $17,4 \pm 0,5$ до $19,0 \pm 0,2$ мс ($P < 0,05$) с преимущественным нарушением на выпуклой стороне деформации. Указанная электрофизиологическая картина свидетельствовала о развитии проводниковых нарушений СМ на уровне его грудных сегментов, характеризующихся латеральными различиями на выпуклой и вогнутой сторонах.

Согласно данным ССВП, зарегистрированных при электрическом раздражении *n. medianus* верхней конечности, у всех пациентов с ИС имело место увеличение латентности ВП, а также показателя ССТ на участке от шейных сегментов до первичной соматосенсорной коры головного мозга (рис. 2).

У пациентов с углом искривления до 90° ССТ составило $5,9 \pm 0,4$ мс, что соответствовало контрольным значениям (в норме – $5,7 \pm 0,3$ мс); у пациентов с углом искривления свыше 90° – от $6,6 \pm 0,1$ до $6,8 \pm 0,3$ мс.

Полученные результаты показали, что, несмотря на тяжелую деформацию позвоночника, у больных сколиозом с дугой искривления до 90° показатели афферентной проводимости мозга близки к нормальным значениям, что отражает высокую резистентность и сохранение функции сегментарных и проводниковых нервных структур к хронической компрессии на уровне дуги искривления позвоночника. Увеличение тяжести сколиотической деформации свыше 90° сопровождается появлением электрофизиологических признаков сенсорной недостаточности нервных путей не только в зоне деформации позвоночника, но и выше, на уровне шейных сегментов и супраспинальных структур.

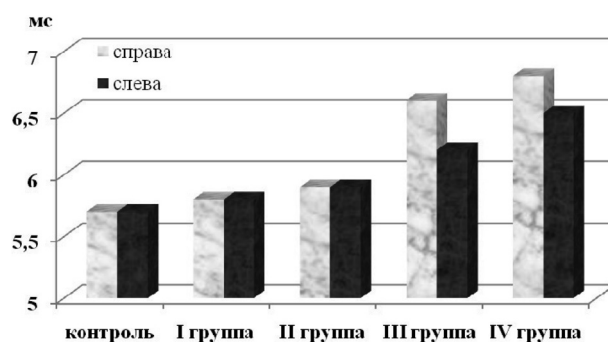


Рис. 2. Изменение времени центрального афферентного проведения импульса ($N_{13}-N_{20}$) у пациентов со сколиотической деформацией позвоночника IV степени тяжести на участке шейных сегментов

ЗВП являются ответной реакцией зрительных центров коры затылочной области мозга (поля 17, 18 и 19 по Бродману) на световое раздражение сетчатки. Параметры ЗВП являются показателями функционального состояния зрительного анализатора и используются для оценки и диагностики поражений ретинокортикального пути. Электрофизиологический паттерн ЗВП включают ряд негативных (N) и позитивных (P) пиков, которые делятся на первичные, или ранние, компоненты ответа (до 100 мс), и вторичные, или поздние, компоненты (свыше 100 мс). Наибольшую диагностическую ценность имеют первые три пика: N_{75} является результатом стимуляции желтого пятна, P_{100} генерируется в коре стриатума, N_{125} имеет широкую топографию по средней линии независимо от стимуляции правого или левого поля зрения.

Анализ параметров компонентов N_{75} и N_{125} , зарегистрированных у пациентов со сколиозом, не выявил значимых различий по сравнению аналогичными показателями в контрольной группе. При анализе параметров пика P_{100} установлено, что его амплитуда находилась в пределах контрольных значений как на правой, так и на левой стороне. Величина латентного периода имела тенденцию к укорочению по сравнению с контрольными значениями и составляла в среднем $92,3 \pm 15,0$ мс ($P > 0,05$) при норме $103,0 \pm 15,0$ мс.

Указанный характер изменения ЗВП отражает сложные процессы, происходящие в супраспинальных структурах и может свидетельствовать о билатеральной дисфункции зрительных путей, а также о повышении рефлекторной возбудимости ствола головного мозга вследствие изменения потока афферентной импульсации по корковым связям зрительного анализатора при сколиозе.

Электрофизиологический контроль функции СМ через месяц после хирургического лечения свидетельствовал о положительной реакции изучаемых параметров ССВП и МО, характеризовавшихся увеличением амплитуды ответов, снижением латентного времени и степени билатеральной асимметрии, что отражало восстановление сенсомоторной проводимости СМ на всем его протяжении. У пациентов с углом искривления до 90° электрофизиологические показатели практически достигали уровня контрольных значений. У пациентов с углом искривления свыше 90° наблюдали частичное восстановление функции СМ. Полученные данные оценивали как положительный результат хирургической коррекции деформации позвоночника вследствие улучшения интравертебрального статуса СМ. Динамические наблюдения в течение 1 года и более указывали на стабилизацию и дальнейшую нормализацию сегментарной и проводниковой функций СМ. На рис. 3 представлено изменение афферентной проводимости восходящих путей СМ в различные сроки после оперативного лечения.

Улучшение неврологических функций СМ и восстановление электрофизиологических показателей его проводимости после хирургической коррекции сколиотической деформации позвоночника отмечено у всех пациентов. Это изменение предполагает сохранность высоких физиологических резервов микроциркуляторного русла СМ и пластических свойств ЦНС у пациентов с тяжелой деформацией позвоночника. Результаты проведенных исследований совпадали с клиническими данными, свидетельствующими о функциональном улучшении.

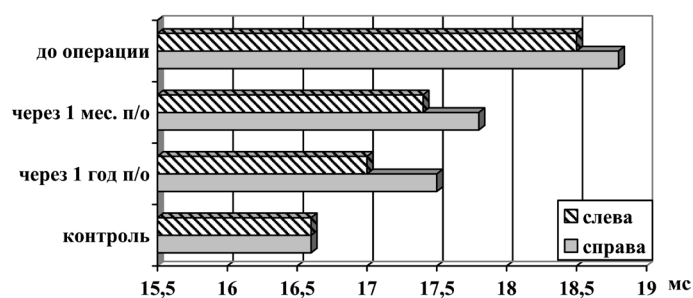


Рис. 3. Изменение времени центрального афферентного проведения импульса ($N_{22}-P_{38}$) у пациентов со сколиотической деформацией позвоночника IV степени тяжести с углом искривления $121-150^\circ$ в динамике хирургической коррекции

Заключение. Таким образом, основанное на регистрации и анализе вызванных потенциалов комплексное электрофизиологическое обследование, проведенное у пациентов со сколиотической деформацией позвоночника IV степени тяжести, выявило различные отклонения от нормы электрофизиологических показателей, характеризующих функциональное состояние нейрональных структур, находящихся вне зоны основного искривления позвоночника. Характер изменения сенсомоторной функции СМ выше уровня деформации позвоночника у пациентов с углом искривления свыше 90° может являться следствием как асимметричного потока афферентной проприоцептивной импульсации на состояние активности нейронов первичной соматосенсорной коры головного мозга и нарушением нисходящего супраспинального контроля, так и иметь самостоятельное значение, являясь пусковым механизмом вертебро-медуллярного конфликта. Отсутствие изменений функции СМ у пациентов с углом искривления до 90° свидетельствует о высокой пластичности ЦНС при сколиозе IV степени тяжести. Изменение параметров зрительного компонента P_{100} может быть обусловлено смещением структур мозга, генерирующих ЗВП относительно точек регистрации, связанным с компрессионным воздействием деформации позвоночника на ткань СМ и, как следствие, с нарушением его микроциркуляции в шейном отделе.

Восстановление электрофизиологических показателей проводимости СМ в ранние сроки после хирургической коррекции сколиотической деформации позвоночника связано не только с анатомическими особенностями кровоснабжения СМ, имеющего выраженный характер преимущественной вентральной васкуляризации, но предполагает также сохранность высоких физиологических резервов микроциркуляторного русла СМ и пластических свойств ЦНС у больных сколиозом [15]. Положительная динамика параметров ВП, зарегистрированная в процессе оперативного лечения сколиоза, позволяет предположить, что уменьшение патологических параметров дуг деформации позвоночника при отсутствии дегенеративных изменений СМ и сохранении физиологических резервов микроциркуляторного русла сосудистой системы СМ способствует улучшению функционального состояния СМ и восстановлению параметров его проводимости у пациентов со сколиозом.

Литература

1. Абальмасова Е. А. Сколиоз у детей и подростков и задний спондилодез: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1965.
2. Алиева Т. А., Павленко В. Б. // Уч. Зап. Таврич. нац. ун-та им. В. И. Вернадского. 2010. Т. 23, № 3. С. 3–14.
3. Бутуханов В. В., Неретина Е. В. // Хирургия позвоночника. 2008. № 1. С. 32–39.
4. Гайваронский Г. И. Экспериментальный сколиоз: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1982.
5. Гнездицкий В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. М., 2003. – 246 с.
6. Дудин М. Г., Пинчук Д. Ю., Бекшаев С. С. и др. // Хирургия позвоночника. 2006. № 4. С. 18–25.
7. Дудин М. Г., Пинчук Д. Ю. // Хирургия позвоночника. 2005. № 1. С. 45–55.
8. Ильясевич И. А. Нейрофизиологические критерии оценки функционального состояния спинальных и супраспинальных отделов мозга при изменении межнейронных взаимодействий: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. – 42 с.
9. Куренков А. Л., Соколов П. Л., Никитин С. С. // Журн. неврологии и психиатрии. 2001. № 10. С. 59–64.
10. Мальцева Е. В., Воронович И. Р. // Здравоохранение Беларуси. 1967. № 8. С. 12–16.
11. Михайловский М. В., Зайдман А. М. // Хирургия позвоночника. 2004. № 2. С. 88–97.
12. Пинчук О. Д. Особенности функционирования центральной нервной системы у детей с идиопатическим сколиозом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2010.

13. *Смирнова Ю. В., Смирнов К. В.* // Невролог. вестн. 2002. Т. XXXIV. Вып. 1–2. С. 73–74.
14. *Соколов П. Л.* // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2011. № 5. С. 113–117.
15. *Сошникова Е. В., Заровская А. В.* // Фундаментальные науки – медицине: материалы междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2013. С. 263–266.
16. *Торопина Г. Г.* // Боль. 2005. № 1. С. 2–8.
17. *Трошина Е. М.* // Нейрофизиологические исследования в клинике. М., 2013. С. 55–57.
18. *Шейн А. П., Криворучко Г. А., Щурова Е. Н.* и др. // Хирургия позвоночника. 2007. № 1. С. 35–43.
19. *Якупов Э. З., Кузнецова Е. А.* // Журн. неврологии и психиатрии. 2010. № 1. С. 73–77.
20. *Adamova B., Vohanka S., Dusek L.* // Eur. Spine J. 2005. Vol. 14. P. 269–276.
21. *Dimitrijevic M. A.* // Artif. Organs. 2005. Vol. 29, N 3. P. 216–219.
22. *Domenech J.* // Eur. Spine J. 2009. Vol. 18. Suppl. 4. P. 424.
23. *Rosler K. M.* // News Physiol. Sci. 2001. Vol. 16, N 12. P. 297–302.

E. V. SOSHIKOVA

**FEATURES OF THE FUNCTIONAL STATE OF SUPRASPINAL STRUCTURES IN PATIENTS
WITH COLIOSIS OF IV SEVERITY**

Summary

The results of the electrophysiological study (by somatosensory evoked potentials, visual evoked potentials, transcranial magnetic stimulation) in 50 patients with scoliosis of IV severity before and after surgical treatment have been analyzed.

A variety of abnormal electrophysiological parameters of the functional state of the neuronal structures outside the area of the main curvature of the spine have been identified.