



ПРОФИЛАКТИКА НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ГРУБЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

**В.В. Новиков, М.В. Новикова, С.Б. Цветовский, М.Н. Лебедева,
М.В. Михайловский, А.С. Васюра, Д.Н. Долотин, И.Г. Удалова**
Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии

Цель исследования. Оценка эффективности профилактики неврологических осложнений на основе применения комплексного интраоперационного мониторинга функции спинного мозга.

Материал и методы. Проанализированы результаты применения интраоперационного мониторинга функции спинного мозга у 457 пациентов со сколиотическими деформациями позвоночника IV ст. при хирургической коррекции с применением сегментарного инструментария III поколения в различных вариантах комбинации одноэтапного, многоэтапного в объеме одной операции или двухэтапного отсроченного хирургического вмешательства. У 353 пациентов величина сколиотической дуги превышала 80°. Всем больным проводили постоянный интраоперационный кожный термомониторинг нижних конечностей. У 45 пациентов осуществили запись соматосенсорных вызванных потенциалов, 41 больному с тракционно провоцируемой пирамидной недостаточностью или с уже имеющейся миелопатией провели интраоперационный wake-up test Stagnara.

Результаты. У 4 (0,88 %) пациентов зарегистрировано развитие неврологических осложнений в виде нижней вялой параплегии, отмечен быстрый подъем кожной температуры нижних конечностей более 1 °С на этапе проведения коррекции деформации позвоночника. У 2 из них при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов отмечено резкое снижение амплитуды волн регистрируемых потенциалов, вплоть до полного их исчезновения. У пациентов, у которых развития неврологических осложнений не произошло, кожный термомониторинг нижних конечностей не выявил значимых изменений.

Заключение. При высоком риске развития неврологических осложнений в результате корригирующих операций на позвоночнике необходимо проведение комплексного интраоперационного мониторинга функции спинного мозга.

Ключевые слова: деформация позвоночника, интраоперационный мониторинг, соматосенсорные вызванные потенциалы, неврологические осложнения, повреждение спинного мозга.

PREVENTION OF NEUROLOGICAL COMPLICATIONS IN CORRECTION SURGERY FOR SEVERE SPINAL DEFORMITIES

*V.V. Novikov, M.V. Novikova, S.B. Tsvetovskiy,
M.N. Lebedeva, M.V. Mikhailovskiy, A.S. Vasyura,
D.N. Dolotin, I.G. Udalova*

Objective. To assess the efficacy of neurological complication prevention by multimodal intraoperative monitoring of spinal cord functioning.

Material and Methods. Results of intraoperative spinal cord monitoring in 457 patients during spine correction surgery for grade IV scoliosis with application of the third-generation segmental instrumentation were analyzed. The magnitude of scoliotic curvature exceeded 80 degrees in 353 patients. All patients underwent continuous intraoperative monitoring of lower extremity skin temperature. Out of them, in 45 patients somatosensory evoked potentials were recorded, and in 41 patients intraoperative Stagnara wake-up test was performed. **Results.** Neurological complications were registered in 4 patients as lower atonic paraplegia which accompanied with rapid rise in lower extremity skin temperature more than by 1 °C during spinal deformity correction. In two of them SSEP recording showed a sharp decrease in the amplitude of potential waves up to their complete disappearance. Skin temperature monitoring of lower extremities did not revealed significant changes in patients without neurological complications.

Conclusion. Multimodal intraoperative monitoring of the spinal cord function should be performed in patients with high risk of neurological complications after surgical correction of spinal deformity.

Key Words: spinal deformity, intraoperative monitoring, somatosensory evoked potentials, neurological complications.

Hir. Pozvonoc. 2011;(3):66–76.

В хирургии грубых деформаций позвоночника неврологические осложнения являются наиболее серьезными [5, 8, 12, 15]. Частота неврологических осложнений, в зависимости от применяемого метода хирургического лечения, колеблется от 0,37 до 10,00% [4, 10, 12, 25]. При этом описаны различные механизмы повреждения спинного мозга в ходе оперативных вмешательств по поводу сколиоза. По мнению Delecric et al. [15], эти механизмы могут быть разделены на две большие группы — первичные и вторичные. В свою очередь, обе эти группы авторы подразделяют в зависимости от уровней поражения — локального, регионального и системного. Сложность такого подразделения механизмов повреждения спинного мозга объясняется их возможным разнообразием и отсутствием четких критериев диагностики самого момента повреждения. Bridwell et al. [12] предлагают свою классификацию основных причин развития неврологического дефицита. Среди них сдавление спинного мозга имплантатом или эпидуральной гематомой; выстояние в просвет позвоночного канала желтой связки, задней продольной связки или ткани межпозвонкового диска после коррекции; дистрагирующее воздействие на спинной мозг; сосудистое поражение спинного мозга вследствие нарушения его кровоснабжения без участия каких-либо механических причин. Подобное перечисление причин развития неврологического дефицита позволяет исследователям в большей степени сконцентрировать свое внимание на изучении проблемы возможного развития неврологических осложнений. В случае развития двигательных нарушений пациент становится инвалидом с социально-моральными последствиями, а для оперирующего хирурга эта трагедия, помимо всего прочего, может закончиться судебным иском, поэтому методы исследования, позволяющие зафиксировать повреждение содержимого позвоночного канала и своевременно предпринять усилия, направленные на минимиза-

цию или полное устранение последствий такого повреждения, приобретают особую значимость.

Основные требования, предъявляемые к интраоперационному мониторингу функции спинного мозга, сводятся к следующему: во-первых, необходимо зафиксировать момент повреждения как можно раньше, что определяет требования высокой чувствительности и специфичности применяемых диагностических методов мониторинга; во-вторых, эти методы мониторинга должны использоваться в ходе хирургического вмешательства неоднократно, причем с минимальным дополнительным риском для больного [28].

Один из способов профилактики неврологических осложнений заключается в проведении интраоперационного *wake-up test* Stagnara [37], который позволяет оценить функциональную целостность всей двигательной системы, включая центральный мотонейрон и двигательные единицы (клетки передних рогов спинного мозга, аксоны и иннервируемые ими мышцы). Однако при недостаточном пробуждении пациента тест бывает ложноположительным. В связи с этим предъявляются особые требования ко всем компонентам анестезиологического обеспечения, в частности к используемому гипнотику, с целью обеспечения высокоуправляемой анестезии. Кроме того, *wake-up test* оценивает двигательную функцию, но не чувствительную. Проведение теста возможно после завершения основных корригирующих манипуляций через достаточно продолжительное время, когда уже может иметь место повреждение спинного мозга. Более того, если суммировать время на подготовку и проведение теста, учитывать необходимость повторного введения анестетиков, можно сделать вывод, что проведение более чем одного исследования в ходе вмешательства малореально и небезопасно для больного. Тем не менее тест (при правильном проведении) считается высокодостоверным, так как точно определяет наличие двигательного дефицита, развитие которого

значительно тяжелее, чем чувствительного, и в большей степени беспокоит хирурга. Метод Stagnara применяется в ведущих вертебрологических клиниках России [1, 3, 6, 7] и является рутинной методикой в специализированных вертебрологических центрах Западной Европы и Америки вне зависимости от исходной величины деформации позвоночника [10–12, 20, 27, 31, 35, 39, 40].

Другим способом обнаружения неврологических осложнений является клонус-тест. В норме вызвать клонус невозможно в связи с тем, что он подавляется корой головного мозга. Общая анестезия снижает активность корковых структур и позволяет вызвать клонус у неврологически здорового пациента сразу на выходе из наркоза. При повреждении спинного мозга в ходе вмешательства развивается спинальный шок с вялым парезом, и клонусы невозможно вызвать даже при выходе из наркоза. Анатомический субстрат клонус-теста состоит из двух компонентов — центрального (центрального мотонейрона) и периферического (чувствительных окончаний и элементов двигательных единиц). Достоверность клонус-теста проблематична, и многие авторы считают его ненадежным методом диагностики неврологических осложнений [19, 24, 33]. Это связано с необходимостью снятия нервно-мышечного блока, но только в период до восстановления признаков сознания. Более того, если клонус-тест дал отрицательный результат, это не означает, что спинной мозг поврежден. Иногда это бывает в ситуации, когда больной проснулся и анестезия более не оказывает влияния на кору головного мозга.

С развитием диагностических и визуализационных технологий методы нейрофизиологического мониторинга, в частности соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП), в высокоразвитых странах стали стандартом интраоперационного исследования при выполнении корригирующих операций на позвоночнике как единственно неинвазивные методы получения сенсорной

информации от центральной нервной системы [30]. Существует известная корреляция между волновыми формами ССВП и конкретными анатомическими структурами. Результаты ранее выполненных исследований показали связь идиопатического сколиоза с дисфункцией соматосенсорных проводящих путей у 11,6% обследованных, в частности статистически значимую пролонгацию латентностей у больных сколиозом в сравнении с контрольной группой [14]. Как сообщали Seyal, Mull [34] в 2002 г., амплитуду ССВП и латентность компонентов ССВП во время операции определяет не только развитие ишемии спинного мозга, но и малейшее падение артериального давления, а также гипотермия, которые могут увеличивать частоту фальш-положительных результатов.

Однако в ряде случаев использование только ССВП является неэффективным для выявления дефицита функции двигательных путей спинного мозга. В частности, использование корковых ССВП рассматривалось как не дающее достоверной оценки в случаях, когда при регистрации на предоперационном этапе выявляется неврологический статус слабой амплитуды, наблюдаемый у пациентов с тяжелыми формами деформаций позвоночника или при патологии спинного мозга (сирингомиелии, опухоли). Кроме того, значительное влияние на мониторинг ССВП оказывает анестезия [30, 38]. При анестезиологическом обеспечении хирургической коррекции сколиоза с применением метода ССВП методом выбора должен быть вариант анестезии, оказывающий наименьший супрессивный эффект на ССВП. Суть методики ССВП заключается в стимулировании периферических смешанных нервов (чаще всего *n. tibialis posterior*) и измерении реакции на эту стимуляцию каудальнее и краниальнее уровня хирургического вмешательства на позвоночнике [26, 36]. Запись потенциалов ведется постоянно во время операции, а их амплитуда и латентность (время появления) сравниваются с исходными данными. Именно исследование ССВП было пер-

вым типом электрофизиологического мониторинга спинного мозга [27]. Несмотря на то что развитие двигательного дефицита гораздо тяжелее, чем чувствительного, и в большей степени беспокоит оперирующего хирурга, предполагалось, что факторы, повреждающие двигательный тракт, будут влиять и на состояние ССВП из-за относительной близости чувствительных и двигательных путей спинного мозга. Эффективность мониторинга определяется тем, насколько быстро после повреждения спинного мозга и насколько четко это осложнение фиксируется. Как сообщают Kai et al. [21], если повреждение спинного мозга происходит по механической причине, то вызванные потенциалы исчезают в течение двух минут, а если развиваются сосудистые нарушения — в пределах двадцати минут. Различные авторы указывают на наличие как ложноположительных, так и ложноотрицательных ответов при стимуляции периферических нервов [22, 27, 29]. Анатомическим субстратом ССВП являются периферические нервы, заднебоковые тракты спинного мозга и кора головного мозга. Переднебоковые двигательные тракты отделены от заднебоковых анатомически и имеют иные источники кровообращения, поэтому нарушение кровообращения переднебоковых двигательных трактов приведет к развитию параплегии, но может не быть зафиксировано с помощью ССВП.

В последние годы все чаще применяют мониторинг двигательных путей спинного мозга [18, 32]. Двигательные вызванные потенциалы (ДВП) дают информацию о состоянии двигательных путей спинного мозга, которая не может быть получена с помощью ССВП. Возникло даже несколько вариантов метода: транскраниальная магнитная стимуляция [16, 17] или электростимуляция коры головного мозга [13], электростимуляция спинного мозга [12]. Стимуляция головного мозга позволяет оценить функцию всех отделов нервной системы, включая центральный мотонейрон и двигательные элементы. При стимуляции

спинного мозга исследуют нервную систему, расположенную дистальнее уровня стимуляции, включая двигательные элементы. Использование анестезиологами миорелаксантов возможно только на вводимом наркозе, что создает определенные проблемы для оперирующего хирурга. Вместе с тем, как отмечают Lieberman et al. [23], применение метода ДВП затруднительно у больных детского возраста (младше 10 лет), оперируемых в условиях общей анестезии, в связи с незрелостью нисходящих кортикоспинальных двигательных нервных путей.

Цель исследования — оценка эффективности профилактики неврологических осложнений на основе применения комплексного интраоперационного мониторинга функции спинного мозга.

Материал и методы

С января 2005 г. по февраль 2011 г. хирургическому лечению с применением корригирующего сегментарного инструментария третьего поколения («CD-Horizon», «М-8», «Legacy», «НИТЕК») подвергнуты 457 пациентов со сколиотическими деформациями позвоночника IV ст. врожденной и приобретенной этиологии. Из них 353 пациента имели грубые деформации позвоночника с величиной сколиотического компонента более 80°, 104 — менее 80°. Возраст больных варьировал от 12,1 до 37,2 года и в среднем составил 17,4 года. Больных мужского пола 73, женского — 384. Многоэтапному хирургическому лечению с последовательным выполнением мобилизующей дискэктомии с межтеловым спондилодезом и коррекцией деформации позвоночника в объеме одной операции подвергли 298 (65,2%) пациентов с величиной сколиотической дуги, превышающей 80°. У всех больных применяли тракционное воздействие на позвоночник. В этой группе 73 пациентам выполняли корригирующие клиновидные вертебротомии на вершине деформации позвоночника, у 22 из них первым этапом были выполнены мобилизующие дискэкто-

мии на вершине деформации с последующим наложением гало-тазового аппарата и проведением постепенно увеличивающейся гало-тазовой тракции в течение нескольких недель. Максимально возможный результат коррекции в гало-тазовом аппарате заканчивался операцией с применением корригирующего инструментария. Остальных 137 пациентов оперировали одноэтапно в условиях скелетного вытяжения. Такое распределение зависело от тяжести деформации позвоночника, ее ригидности и возраста больного на момент проведения хирургического лечения.

Больных оперировали в условиях двух вариантов общей анестезии (ОА), отличающихся по концепции анестезиологического обеспечения и выбору компонентов фармакологического сочетания: ОА на основе комбинации ингаляционного анестетика севофлурана в концентрации 3,0–1,5 об. % (минимальная альвеолярная концентрация — МАК 1,2–0,6), фентанила, миорелаксантов средней продолжительности действия с ИВЛ и варианта ТВА с использованием гипнотика пропофолла с инфузией по целевой концентрации, соответствующей значениям от $2,6 \pm 0,3$ до $1,9 \pm 0,4$ мкг/мл, фентанила, миорелаксантов средней продолжительности действия и ИВЛ. С целью усиления антистрессовой и антиноцицептивной защиты дополнительными компонентами в указанных вариантах ОА являлись стресс-протектор клофелин (0,004–0,005 мкг/кг/ч) и блокада NMDA-рецепторов субанестетическими дозами кетамина (0,25 мг/кг/ч). Оценку глубины анестезии и состояния миоплегии проводили на основе регистрации биспектрального индекса электроэнцефалограммы (BIS) и электромиографии с использованием монитора «Aspect BIS XP». Уровень BIS определяли пределами 35–55 (с учетом травматичности этапов операции), как соответствующий оптимальному гипнотическому эффекту при выполнении вертеброхирургических вмешательств.

Продолжительность хирургического вмешательства варьировала от 120 до 350 мин. Общая интраоперационная кровопотеря при применении технологии многоэтапного хирургического лечения в среднем составила $34,7 \pm 2,2\%$ ОЦК, при выполнении только дорсального спондилодеза — $30,4 \pm 1,0\%$ ОЦК. Во время хирургического вмешательства поддерживали режим умеренной (гематокрит $28,8 \pm 4,4$ л/л) гемодилюции.

У всех пациентов проведен интраоперационный мониторинг функции спинного мозга с использованием различных диагностических методов. Регистрацию ССВП выполняли у 45 больных с грубыми деформациями позвоночника, которым предполагалось проведение корригирующего хирургического вмешательства. Для регистрации ССВП использовали электромиограф «Нейропак-2».

Стимулировали дистальные отделы большеберцовых нервов прямоугольными импульсами длительностью 0,2 мс, в большинстве случаев в рандомизированном, квазислучайном ритме со средней частотой следования 3 в 1 с. Интенсивность стимулирующего тока при предоперационных обследованиях выбирали такой, которая достаточна для вызова заметных двигательных реакций коротких сгибателей на стопах (10–16 мА) в операционной, при нахождении пациента под наркозом в состоянии миорелаксации, а силу тока увеличивали в 1,5–2,0 раза.

Для регистрации при предоперационных обследованиях использовали стандартные чашечные электроды, входящие в комплект миографа. В операционной для обеспечения надежного контакта в течение длительного времени и для уменьшения уровня техногенных помех использовали игольчатые электроды, переделанные из электродов для игольчатой ЭМГ. В модифицированных коаксиальных электродах для отведения потенциалов использовали центральный электрод, наружный соединяли с заземляющим входом. Таким образом, обеспечивали подключение и активного,

и референтного электродов к одному симметричному входу миографа, причем каждый электрод имел заземленный экран. Расположение электродов следующее: активный в зоне предательства чувствительности нижних конечностей (1,5–2,0 см кзади от вертекса по сагиттальной линии), референтный — по сагиттальной линии во лбу. Усиление канала регистрации обеспечивает представление ССВП в масштабе 2,5 мкВ на деление. Полоса пропускания стандартная для прибора 1–500 Гц. При наличии значительных медленно волновых или высокочастотных помех возможно изменение нижней границы полосы до 5 Гц или верхней до 200 Гц, без внесения значимых искажений в представление основных позитивных компонентов ССВП.

У 47 (10,3%) пациентов с грубыми деформациями позвоночника, у которых во время предоперационного обследования при проведении тракционной пробы были выявлены признаки пирамидной недостаточности или уже имелась миелопатия, во время корригирующей операции проводили *wake-up test*.

Учитывая требования, предъявляемые к интраоперационному мониторингу функции спинного мозга (необходимость высокой чувствительности и специфичности используемых диагностических методов), на основании собственного опыта в клинике детской и подростковой вертебродологии Новосибирского НИИТО разработан способ ранней диагностики неврологических осложнений при операциях на позвоночнике [2]. Способ основан на проведении постоянной интраоперационной кожной термографии нижних конечностей с возможностью быстрой и точной регистрации подъема кожной температуры при возникновении нарушения функциональной целостности спинного мозга. Разработанный метод интраоперационного мониторинга функции спинного мозга применили у всех оперированных путем постоянного и непрерывного контроля кожной температуры на симметричных областях задней поверх-

ности голеней до полного окончания операции.

У 40 % больных с высоким риском развития возможных неврологических осложнений регистрировали параметры импедансной плетизмографии, в частности периферический базовый импеданс (PZ0) нижних конечностей, с использованием системы «Nissomo» (Германия), изменения которого при развитии спинального шока могут быть обусловлены сдвигами венозного объема крови в измеряемом сегменте нижних конечностей.

Результаты и их обсуждение

Большинство пациентов прооперированы с хорошими результатами коррекции деформации и с отсутствием неврологических осложнений. Осложнения возникли у 4 (0,88 %) пациентов и заключались в развитии нижней вялой параплегии, которая выражалась в полном отсутствии движений в ногах и нарушении всех видов проводниковой чувствительности с уровня поражения спинного мозга. У всех этих больных зарегистрировали быстрый подъем кожной температуры нижних конечностей более 1 °С сразу во время осуществления коррекции деформации позвоночника, после патологического воздействия повреждающего фактора. Причины развития неврологических осложнений в указанных наблюдениях были различными.

У одной пациентки отметили развитие нижней параплегии в результате компрессии спинного мозга фрагментом гемостатической губки, с помощью которой осуществляли гемостаз в месте обильного эпидурального кровотечения. После удаления гемостатической губки и устранения ее давления на спинной мозг зарегистрировали снижение кожной температуры нижних конечностей с постепенным ее восстановлением до исходной. Сразу после пробуждения у больной появились движения в ногах, восстановилась проводниковая чувствительность.

В двух случаях неврологические осложнения возникли в результате коррекции грубого кифосколиоза

за с величиной сколиотической дуги 102 и 133°, кифоза — 121 и 128°. После выполнения мобилизующей дискэктомии осуществили коррекцию деформации на фоне скелетного вытяжения за череп и голени. У одной из этих пациенток осуществляли запись ССВП. Было отмечено резкое снижение потенциалов до полного их исчезновения сразу после проведения коррекции деформации позвоночника. После диагностики осложнения инструментарий в центральной части у обеих пациенток удалили с сохранением краниальных и каудальных фиксирующих элементов для дальнейшего лечения. Сразу после снятия корригирующего усилия инструментария отметили начало снижения кожной температуры ног с быстрым ее восстановлением. После пробуждения у больных появились движения в ногах, восстановилась чувствительность конечностей. Это позволило в дальнейшем поднять больных на ноги на 7–10-е сут после операции, а после непродолжительной адаптации к вертикальному положению, в связи с почти полным восстановлением силы в ногах, выписать домой без внешней иммобилизации для амбулаторного наблюдения в динамике.

Еще один случай развития неврологического осложнения произошел у пациентки с крайней степенью выраженности деформации позвоночника (величина сколиотической дуги 145°, кифоза — 152°). При проведении тракционной пробы больная продемонстрировала достаточно выраженную подвижность позвоночника и отсутствие какой-либо неврологической симптоматики как до тракции, так и во время ее проведения, поэтому проведения *wake-up test* во время операции не планировали, однако осуществляли запись ССВП и проводили кожный термомониторинг нижних конечностей. После выполнения мобилизующей дискэктомии, скелетного вытяжения, множественных клиновидных вертебротомий на вершине деформации позвоночника на этапе установки второго стержня сегментарного инструментария с выпуклой

стороны деформации позвоночника отметили резкий подъем кожной температуры на ногах: в течение 2–5 мин на 1,2° на правой ноге, соответствующей вогнутой стороне деформации, и на 0,7° — на левой, соответствующей выпуклой стороне. Одновременно с этим произошло резкое снижение волн ССВП, вплоть до полного их исчезновения. Кроме того, отмечено появление брадикардии. Была немедленно выполнена люмбальная пункция, при этом выявили блок ликворных путей при проведении проб Стюккеля и Квеккенштедта. При миелографии с контрастом (омнипаком) выявили блок контрастирования на вершине деформации позвоночника. Во время осуществления указанных диагностических манипуляций удалось выполнить *wake-up test*, который показал отсутствие движений в ногах. Таким образом, в этой ситуации был использован комплекс методов интраоперационного мониторинга функции спинного мозга. С учетом признаков неврологического осложнения принято решение об удалении установленного инструментария полностью. После пробуждения больной в палате реанимации зарегистрировали полное отсутствие движений и чувствительности в правой ноге и снижение силы в левой ноге до 1–2 баллов с частичным сохранением температурной и мышечно-суставной чувствительности с уровня вершины деформации позвоночника. При этом имела разницу в кожной температуре ног — до 0,5° с сохранением повышенной до 1,2°, по сравнению с исходным уровнем, в правой ноге, соответствующей вогнутой стороне сколиотической дуги. В послеоперационном периоде происходило постепенное восстановление силы и чувствительности в ногах. После достижения уровня силы в 4 балла в левой и в 2 балла в правой ноге и почти полного восстановления проводниковой чувствительности и функции тазовых органов было принято решение о повторной установке инструментария для стабилизации позвоночника и осуществления возможности дальнейшей полноценной

реабилитации. Во время проведения повторной операции, после установки первого стержня справа (вогнутая сторона деформации позвоночника), отмечен очередной подъем кожной температуры нижних конечностей на $0,6^{\circ}$. После удаления стержня инструментария кожная температура сразу вернулась к исходному уровню. Выполнили дополнительный изгиб стержня для уменьшения его корригирующего воздействия на деформацию, произвели его повторную установку. После окончательной компоновки корригирующего инструментария отмечена симметризация кожной температуры нижних конечностей справа и слева. При пробуждении пациентки в палате реанимации отрицательной динамики в неврологическом статусе не выявили. Через 10 дней после операции больная смогла самостоятельно подняться на колени, а еще через 2 недели была выписана для продолжения реабилитации.

Интраоперационный *wake-up test* Stagnara проведен 41 больному с тракционно провоцируемой пирамидной недостаточностью или с уже имеющейся миелопатией. Все пациенты, у которых были отмечены движения в ногах при проведении теста, не продемонстрировали неврологических осложнений и после операции. Однако 4 пациентов не удалось пробудить на этапе коррекции во время операции. Восстановление признаков сознания и регресс нервно-мышечного блока произошли у этих пациентов с задержкой, оценка неврологического статуса стала возможной только на этапе наложения кожных швов. Тем не менее у этих пациентов не выявили неврологической симптоматики.

У всех пациентов, у которых развития неврологических осложнений не произошло, кожный термомониторинг нижних конечностей не выявил значимых изменений.

Система неинвазивного мониторинга гемодинамических параметров «Niscom» позволяет в режиме реального времени оценить параметры импедансной плетизмографии, в частности PZ0, изменения которого

при развитии спинального шока могут быть обусловлены потерей вазомоторного тонуса с избыточным кровенаполнением сосудов нижних конечностей и соответствующими сдвигами венозного объема крови в измеряемом сегменте. Так как не существует точного стандарта для расположения электродов, нас интересовали не абсолютные значения PZ0, а их изменения в динамике. Указанный вариант мониторинга был применен у 40% оперируемых с высоким риском развития неврологических осложнений. Ни в одном случае не отметили сколько-нибудь значимых изменений исходных значений базового импеданса как на этапах операции, предшествующих коррекции деформации позвоночника, так и после завершения основных корригирующих мероприятий. Неврологических осложнений у этих пациентов в послеоперационном периоде зарегистрировано не было.

Профилактика послеоперационного парализа или паралича очень важна при выполнении хирургической коррекции деформации позвоночника. В интраоперационном мониторинге функции спинного мозга первостепенной является достоверность исследования, позволяющая хирургу и персоналу, осуществляющему мониторинг, быть уверенными в получаемых данных. Тест Stagnara остается золотым стандартом для подтверждения неврологического статуса во время операции, хотя имеет свои недостатки и может давать ложноположительные результаты [28]. При регистрации ССВП на стимуляцию нервов нижних конечностей анализу подвергали амплитуду, задержку и форму основных позитивных компонентов P39. Учитывали также наличие или отсутствие более поздних позитивных отклонений потенциала, поскольку снижение, уширение и задержка компонента P39 и непосредственный переход этого компонента в более задержанные позитивные отклонения свидетельствуют о десинхронизации ССВП, задержке части сенсорной импульсации и являются признаком нарушения проведения по спинному мозгу.

Исходные, регистрируемые до операции, показатели проведения по задним отделам спинного мозга у пациентов обследуемой группы были различными. Регистрировали как ССВП нормальной амплитуды и формы, без значимых латеральных различий и существенных задержек, так и значительно измененные ССВП. Снижение, задержка, изменение формы ССВП также в большинстве случаев были более выраженными для проведения по вогнутой стороне деформации. Поскольку при нормализации формы позвоночного канала для проведения по вогнутой стороне могут быть значимыми как позитивный фактор декомпрессии проводящих путей спинного мозга, так и негативный фактор их тракции, а реакции сосудов, обеспечивающих кровоснабжение спинного мозга, в основном существенны для проведения с обеих сторон, при наличии существенных латеральных различий для мониторингирования выбирали сторону с лучшими параметрами ССВП.

На рис. 1 приведен пример дооперационной регистрации ССВП на стимуляцию большеберцовых нервов, иллюстрирующий умеренно выраженные различия задержек и формы ССВП.

Наркоз снижал амплитуду и увеличивал задержки ССВП. При варианте ОА с использованием ингаляционного анестетика севорана с МАК 1,2—0,6 амплитуда вызванных потенциалов в 62,5% случаев снижалась значительно, вплоть до полного подавления, хотя в 25,0% случаев при тех же концентрациях севорана регистрировали пригодные для мониторинга ССВП. При варианте ТВА с использованием гипнотика пропофола амплитуда ССВП, регистрируемых в начале операции, была ниже зафиксированной при предоперационном обследовании на 35—50%, увеличение же задержки не превышало 1,8 мс, то есть было менее 5 (в среднем 1,9) %.

В ходе операций имели место как кратковременные изменения (ухудшение) параметров ССВП, связанные с хирургической агрессией,

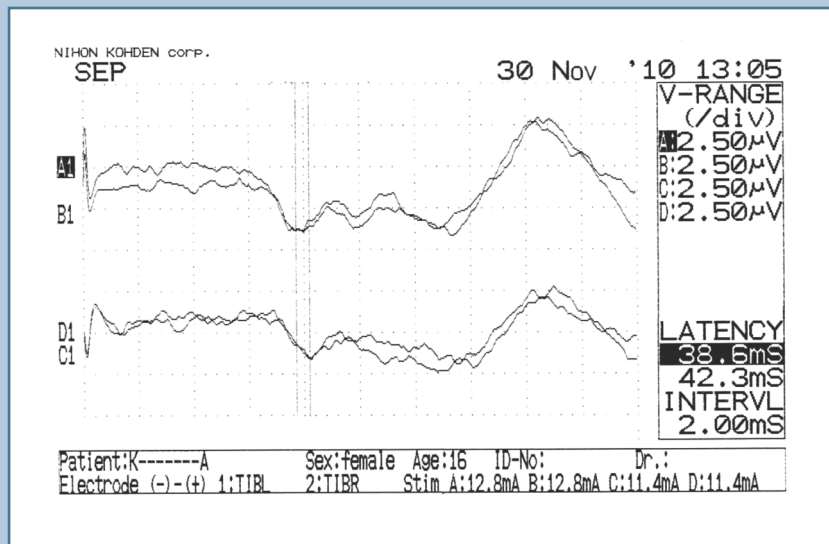


Рис. 1

Результаты регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) на стимуляцию большеберцовых нервов у пациентки со сколиозом при предоперационном обследовании: верхние кривые – ССВП на стимуляцию *n. tibialis* на левой нижней конечности, нижние – на правой

так и медленно развивающиеся умеренные изменения, определяемые качеством нейродинамики, зависящей, в свою очередь, от глубины анестезии и состояния гемодинамики. Постепенное увеличение задержки ССВП при длительном пребывании под наркозом наблюдали у всех пациентов, в том числе и тогда, когда амплитуда снижалась незначительно и форма оставалась стабильной.

В качестве критерия возникновения опасности нежелательных последствий в литературе часто рассматривают увеличение латентности потенциалов, в том числе и компонента Р39, более чем на 10% по отношению к измеренным в условиях анестезии в начале операции [28]. Нужно отметить, что при этом не учитывают то обстоятельство, что в условиях длительного наркоза латентное время компонентов ССВП увеличивается независимо от тяжести хирургической агрессии. Как было показано нами ранее [9], такое увеличение задержек имеет место и для наиболее

устойчивых к действию факторов наркоза стволовых слуховых ССВП, причем степень этого увеличения связана с типом используемого для основного наркоза анестетика. Обусловленное длительным пребыванием пациента в условиях наркоза увеличение задержек стволовых ССВП может достигать значения более 11%, при этом и витальные функции в ходе операции, и исходы не отличаются значимо от ситуаций с меньшим увеличением задержек. При применении нами анестезиологическом обеспечении с использованием не общепринятых, а субнаркологических доз клофелина и кетамина столь большого увеличения задержек, обусловленного длительным пребыванием под наркозом, мы не наблюдали.

Кратковременные изменения ССВП отмечали при интенсивных хирургических манипуляциях, которые приводили к появлению признаков десинхронизации, частичной задержки проведения. Выражалось это в увеличении задержки максимума основного

позитивного компонента, появлении на его заднем фронте дополнительных, еще более задержанных позитивных отклонений, в ряде случаев превосходящих по амплитуде первичный максимум. Увеличение задержки основного позитивного отклонения не превышало 4 мс, то есть 10% от значения, регистрируемого в начале операции; задержка же дополнительных отклонений могла быть существенно большей. При этом не менее чем в трети случаев не отмечали никакого снижения амплитуды ССВП, наоборот, вероятно, вследствие явлений ирритации она увеличивалась. С уменьшением хирургической агрессии параметры ССВП восстанавливались в течение 1–2 мин. Пример таких изменений приведен на рис. 2. Зафиксированы изменения ССВП на этапе скелетирования задних отделов позвоночника, когда имели место значительные механические воздействия. Более продолжительные, однако также преходящие изменения ССВП подобного характера отмечались на этапах поиска точек опоры и заведения крючков в позвоночный канал. Хотя данные изменения являлись обратимыми, их появление принималось во внимание хирургом, хирургическая тактика корректировалась, принимались возможные меры по уменьшению ее агрессивности.

При этом применявшиеся тракционные воздействия на этапе коррекции сколиоза вызывали меньшие изменения ССВП, чем описанные выше. Реакции с изменением параметров ССВП возникали лишь в начале приложения нагрузки, затем быстро наступала адаптация проводниковой функции спинного мозга к изменившейся ситуации. Лишь в одном случае сохранявшееся более 2 мин снижение амплитуды ССВП послужило поводом к снижению нагрузки.

Необратимые изменения, исчезновение ССВП, предшествующие появлению неврологического дефицита (рис. 3), возникли в нашем наблюдении очень быстро, опережая реакцию кожной температуры конечностей.

Вместе с тем включение кожной термографии нижних конечностей

тей в интраоперационный мониторинг функции спинного мозга, на наш взгляд, в значительной степени повышает не только досто-

верность, но и скорость выявления неврологических нарушений во время хирургических вмешательств на позвоночнике.

В целом каждый из методов интраоперационного мониторинга функции спинного мозга имеет свои преимущества и недостатки, которые необ-

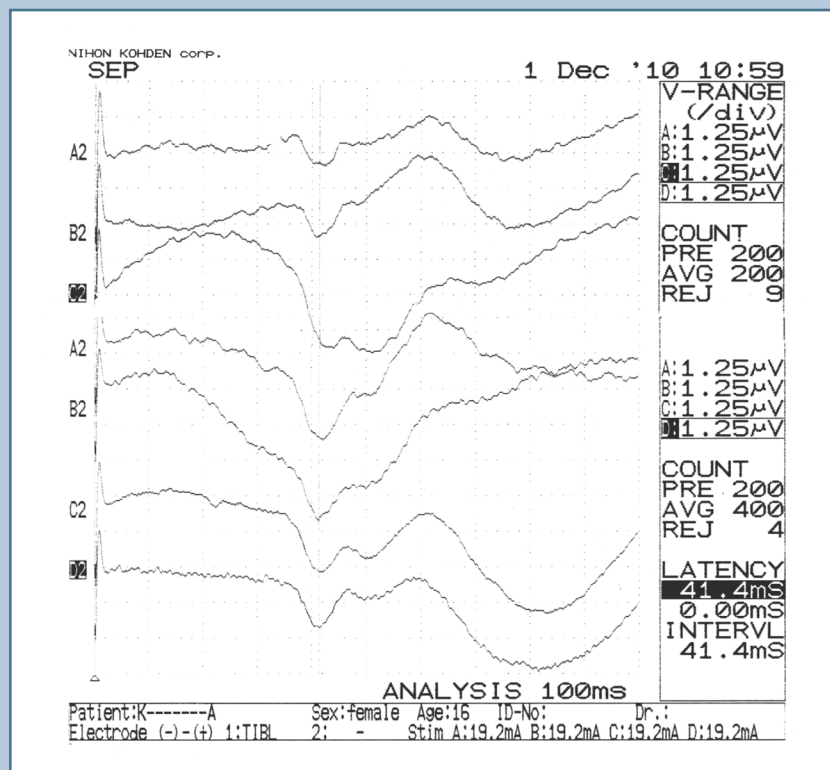


Рис. 2

Мониторинг соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) в ходе операции с целью коррекции сколиотической деформации позвоночника: изменения ССВП при интенсивных хирургических манипуляциях на этапах скелетирования задних отделов позвоночника и удаления межпозвонковых суставов

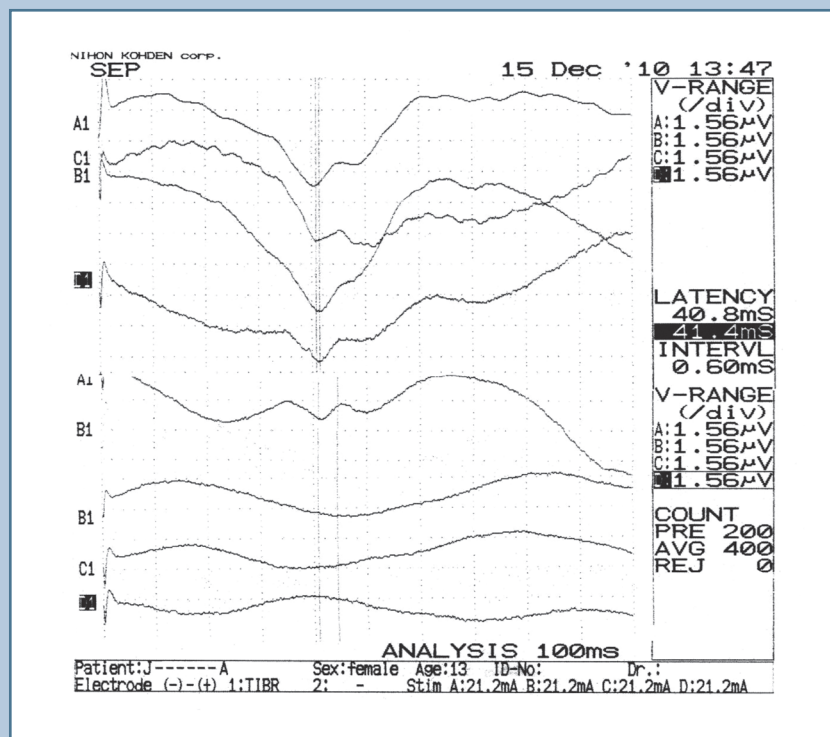


Рис. 3

Необратимое исчезновение соматосенсорных вызванных потенциалов в ходе интраоперационного мониторингирования функции проведения спинного мозга, сопровождавшееся развитием неврологического дефицита

ходимо учитывать при планировании хирургических вмешательств. Использование комбинации ССВП и ДВП вовсе не исключает проведения *wake-up test* и кожной термографии нижних конечностей. В конечном итоге применение того или иного метода интраоперационного мониторинга определяется наличием соответствующего инструментария, обученного персонала, а также доступностью метода, его стоимостью и эффективностью.

Заключение

При определении высокого риска развития неврологических осложнений на этапе формирования плана оперативной коррекции деформации позвоночника, вне зависимости от предполагаемого объема оперативного вмешательства, необходимо проведение комплексного интраоперационного мониторинга функции спинного мозга с осуществлением записи

ССВП, кожной термографии нижних конечностей, контроля периферического сосудистого сопротивления и, при необходимости, *wake-up test*. Это даст возможность не только констатировать возникновение неврологического дефицита и в соответствии с этим проводить действия по его устранению, но также контролировать его возможное приближение, что позволяет снизить общее количество тяжелых неврологических осложнений.

Литература

- Евграфов О.Г., Макушкин В.В., Гумеров А.А. Оптимизация анестезиологического обеспечения при хирургической коррекции сколиоза у детей // Сиб. консилиум. 2007. № 2 (57). С. 30–31.
- Заявка № 2009131538 Российская Федерация. Способ интраоперационной диагностики неврологических осложнений при операциях на позвоночнике / Новиков В.В., Васюра А.С., Лебедева М.Н. и др.; приоритет 19.08.2009.
- Кралин А.Б., Ветрилэ С.Т., Аржакова Н.И. и др. Анестезиологическое обеспечение операций у больных сколиозом с одновременным вмешательством на вентральных и дорсальных отделах позвоночника // Вестн. травматол. и ортопед. им. Н.Н. Приорова. 1999. № 3. С. 45–49.
- Михайловский М.В., Садовой М.А. Оперативное лечение сколиотической болезни: Результаты, исходы. Новосибирск, 1993.
- Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск, 2002.
- Ульрих Г.Э. Анестезиологическое обеспечение операций на позвоночнике у детей: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2005.
- Ульрих Э.В., Мушкин А.Ю. Хирургическое лечение пороков развития позвоночника у детей. СПб., 2007.
- Фищенко В.Я. Сколиоз. Макеевка, 2005.
- Цветовский С.Б., Ступак В.В., Калиновский А.В. Интраоперационный мониторинг состояния ствола головного мозга при удалении менингиом основания черепа с использованием Nd-YAG-лазера // Поленовские чтения: Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2010. С. 291–292.
- Bardosi L, Illes T. Neurological complication due to epidural hematoma after CD operations. Case report. In: Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress, Arcachon, France, 1994:60–62.
- Blussé van Oud-Alblas HJ, Peters JW, de Leeuw TG, et al. A comparison in adolescents of composite auditory evoked potential index and bispectral index during propofol-remifentanyl anesthesia for scoliosis surgery with intraoperative wake-up test. Anesth Analg. 2008;107:1683–1688.
- Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C, et al. Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution. Spine. 1998;23:324–331.
- Calancie B, Harris W, Broton JG, et al. «Threshold-level» multipulse transcranial electrical stimulation of motor cortex for intraoperative monitoring of spinal motor tracts: description of method and comparison to somatosensory evoked potential monitoring. J Neurosurg. 1998;88:457–470.
- Cheng JC, Guo X, Sher AH. Posterior tibial nerve somatosensory cortical evoked potentials in adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 1998;23:332–337.
- Delecryn J, Bernard JM, Pereon Y, et al. Various mechanisms of spinal cord injury during scoliosis surgery. In: Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress, Arcachon, France, 1994:13–14.
- Deletis V. Intraoperative monitoring of the functional integrity of the motor pathways. In: Advances in Neurology: Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and Spinal Cord, ed. by O Devinsky, A Beric, M Dogali. New York, 1993:201–214.
- Devinsky O. Electrical and magnetic stimulation of central nervous system. Historical overview. In: Advances in Neurology: Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and Spinal Cord, ed. by O Devinsky, A Beric, M Dogali. New York, 1993:1–16.
- Edmonds HL Jr, Paloheimo MP, Backman MH, et al. Transcranial magnetic motor evoked potentials (tcMMEP) for functional monitoring of motor pathways during scoliosis surgery. Spine. 1989;14:683–686.
- Ewen A, Cox RG, Davies SA, et al. The ankle clonus test is not a clinically useful measure of spinal cord integrity in children. Can J Anaesth. 2005;52:524–529.
- Heine J, Hopf C, Arai Y. The examination of the complications and problems in Cotrel – Dubousset Instrumentation (CDI). Proceedings of the 7th International Congress on CDI Neurological Complications of Spinal Surgery, 1990:169–172.
- Kai Y, Owen JH, Lenke LG, et al. Use of sciatic neurogenic motor evoked potentials versus spinal potentials to predict early-onset neurologic deficits when intervention is still possible during overdistract. Spine. 1993;18:1134–1139.
- Komanetsky RM, Padberg AM, Lenke LG, et al. Neurogenic motor evoked potentials: a prospective comparison of stimulation methods in spinal deformity surgery. J Spinal Disord. 1998;11:21–28.
- Lieberman JA, Lyon R, Feiner J, et al. The effect of age on motor evoked potentials in children under propofol/isoflurane anesthesia. Anesth Analg. 2006;103:316–321.
- McCulloch PR, Milne B. Neurological phenomena during emergence from enflurane or isoflurane anaesthesia. Can J Anaesth. 1990;37:739–742.
- Mechin JF. Neurological complications with CDI. In: Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress, Arcachon, France, 1994:9–11.
- Nash CL Jr, Brown RN. Spinal cord monitoring. J Bone Joint Surg Am. 1989;71:627–630.
- Owen JH. The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity. Spine. 1999;24:2649–2662.
- Padberg AM, Bridwell KH. Spinal cord monitoring: current state of the art. Orthop Clin North Am. 1999;30:407–433.
- Padberg AM, Wilson-Holden TJ, Lenke LG, et al. Somatosensory and motor evoked potential monitoring.

toring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care. *Spine*. 1998;23:1392–1400.

30. **Pajewski TN, Arlet V, Phillips LH.** Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. *Eur Spine J*. 2007;16(2):S115–S129.
31. **Rodola F, D'Avolio S, Chierichini A, et al.** Wake-up test during major spinal surgery under remifentanyl balanced anaesthesia. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2000;4:67–70.
32. **Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, et al.** Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89:2440–2449.
33. **Sessler DI, Rubinstein EH, Moayeri A.** Physiologic responses to mild perianesthetic hypothermia in humans. *Anesthesiology*. 1991;75:594–610.
34. **Seyal M, Mull B.** Mechanisms of signal change during intraoperative somatosensory evoked potential monitoring of the spinal cord. *J Clin Neurophysiol*. 2002;19:409–415.
35. **Shufflebarger HL, Grimm JO, Bui V, et al.** Anterior and posterior spinal fusion. Staged versus same-day surgery. *Spine*. 1991;16:930–933.
36. **Tamaki T, Noguchi T, Takano H, et al.** Spinal cord monitoring as a clinical utilization of the spinal evoked potential. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;(184):58–64.
37. **Vauzelle C, Stagnara P, Jouvinnoux P.** Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin Orthop Relat Res*. 1973;93:173–178.
38. **Wilson-Holden TJ, Padberg AM, Lenke LG, et al.** Efficacy of intraoperative monitoring for pediatric patients with spinal cord pathology undergoing spinal deformity surgery. *Spine*. 1999;24:1685–1692.
39. **Yao WL, Wang XR, Li BL, et al.** Application of A-line autoregressive model with exogenous input index during the wake-up test in spinal surgery under propofol-remifentanyl anaesthesia. *Chin Med J (Engl.)*. 2007;120:1013–1016.
40. **Yilmazlar A, Aydinli U, Korfali G, et al.** Intraoperative awakening during spine surgery with propofol and alfentanil. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery*. Proceedings of the 11th GICD Congress, Arcachon, France, 1994:122–124.

References

1. Evgrafov OG, Makushkin VV, Gumerov AA. [Optimization of anesthetic management in surgical correction of scoliosis in children]. *Sibirskiy konsilium*. 2007;(2):30–31. In Russian.
2. Novikov VV, Vasyura AS, Lebedeva MN, et al. [Method of intraoperative diagnosis of neurological com-

plications in spinal surgery]. RU Patent Application 2009131538, filed 19.08.2009. In Russian.

3. Kralin AB, Vetrile ST, Arzhakova NI, et al. [Anesthetic management of operations in patients with scoliosis undergoing simultaneous anterior and posterior approach to the spine]. *Vestnik Travmatologii i Ortopedii im. N.N. Priorova*. 1999;(3):45–49. In Russian.
4. Mihaylovskiy MV, Sadovoy MA. [Surgical Treatment of Scoliosis. Results, Outcomes]. Novosibirsk, 1993. In Russian.
5. Mihaylovskiy MV, Fomichev NG. [Surgery of Spinal Deformities]. Novosibirsk, 2002. In Russian.
6. U'rih GE. [Anaesthetic Management for Spinal Surgery in Children]. Summary of the Doctor of Medicine Thesis. St. Petersburg, 2005. In Russian.
7. U'rih EV, Mushkin AYU. [Surgical Treatment of Malformations of the Spine in Children]. St. Petersburg, 2007. In Russian.
8. Fischenko VYa. [Scoliosis]. Makeevka, 2005. In Russian.
9. Tsvetovskiy SB, Stupak VV, Kalinovskiy AV. [Intraoperative monitoring of brain stem in removal of the skull base meningiomas using Nd-YAG-laser]. *Polenov's Readings: Proceedings of the All-Russian Conference*, St. Petersburg, 2010:291–292. In Russian.
10. Bardosi L, Illes T. Neurological complication due to epidural hematoma after CD operations. Case report. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery*. Proceedings of the 11th International GICD Congress, Arcachon, France, 1994:60–62.
11. Blussé van Oud-Alblas HJ, Peters JW, de Leeuw TG, et al. A comparison in adolescents of composite auditory evoked potential index and bispectral index during propofol-remifentanyl anesthesia for scoliosis surgery with intraoperative wake-up test. *Anesth Analg*. 2008;107:1683–1688.
12. Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C, et al. Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution. *Spine*. 1998;(23):324–331.
13. Calancie B, Harris W, Broton JG, et al. «Threshold-level» multipulse transcranial electrical stimulation of motor cortex for intraoperative monitoring of spinal motor tracts: description of method and comparison to somatosensory evoked potential monitoring. *J. Neurosurg*. 1998;88:457–470.
14. Cheng JC, Guo X, Sher AH. Posterior tibial nerve somatosensory cortical evoked potentials in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 1998;23:332–337.
15. Delecron J, Bernard JM, Pereon Y, et al. Various mechanisms of spinal cord injury during scoliosis surgery. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery*. Proceedings of the 11th International GICD Congress, Arcachon, France, 1994:13–14.

16. Deletis V. Intraoperative monitoring of the functional integrity of the motor pathways. In: *Advances in Neurology: Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and Spinal Cord*, ed. by O Devinsky, A Beric, M Dogali. New York, 1993:201–214.
17. Devinsky O. Electrical and magnetic stimulation of central nervous system. Historical overview. In: *Advances in Neurology: Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and Spinal Cord*, ed. by O Devinsky, A Beric, M Dogali. New York, 1993:1–16.
18. Edmonds HL Jr, Paloheimo MP, Backman MH, et al. Transcranial magnetic motor evoked potentials (tcMMEP) for functional monitoring of motor pathways during scoliosis surgery. *Spine*. 1989;14:683–686.
19. Ewen A, Cox RG, Davies SA, et al. The ankle clonus test is not a clinically useful measure of spinal cord integrity in children. *Can J Anaesth*. 2005;52:524–529.
20. Heine J, Hopf C, Arai Y. The examination of the complications and problems in Cotrel – Dubousset Instrumentation (CDI). Proceedings of the 7th International Congress on CDI Neurological Complications of Spinal Surgery, 1990:169–172.
21. Kai Y, Owen JH, Lenke LG, et al. Use of sciatic neurogenic motor evoked potentials versus spinal potentials to predict early-onset neurologic deficits when intervention is still possible during overdistraction. *Spine*. 1993;18:1134–1139.
22. Komanetsky RM, Padberg AM, Lenke LG, et al. Neurogenic motor evoked potentials: a prospective comparison of stimulation methods in spinal deformity surgery. *J Spinal Disord*. 1998;11:21–28.
23. Lieberman JA, Lyon R, Feiner J, et al. The effect of age on motor evoked potentials in children under propofol/isoflurane anesthesia. *Anesth Analg*. 2006;103:316–321.
24. McCulloch PR, Milne B. Neurological phenomena during emergence from enflurane or isoflurane anaesthesia. *Can J Anaesth*. 1990;37:739–742.
25. Mechin JF. Neurological complications with CDI. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery*. Proceedings of the 11th International GICD Congress, Arcachon, France, 1994:9–11.
26. Nash CL Jr, Brown RN. Spinal cord monitoring. *J Bone Joint Surg Am*. 1989;71:627–630.
27. Owen JH. The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity. *Spine*. 1999;24:2649–2662.
28. Padberg AM, Bridwell KH. Spinal cord monitoring: current state of the art. *Orthop Clin North Am*. 1999;30:407–433.
29. Padberg AM, Wilson-Holden TJ, Lenke LG, et al. Somatosensory and motor evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care. *Spine*. 1998;23:1392–1400.

30. Pajewski TN, Arlet V, Phillips LH. Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. *Eur Spine J.* 2007;16(2):S115–S129.
31. Rodola F, D'Avolio S, Chierichini A, et al. Wake-up test during major spinal surgery under remifentanyl balanced anaesthesia. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2000;467–70.
32. Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, et al. Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:2440–2449.
33. Sessler DI, Rubinstein EH, Moayeri A. Physiological responses to mild perianesthetic hypothermia in humans. *Anesthesiology.* 1991;75:594–610.
34. Seyal M, Mull B. Mechanisms of signal change during intraoperative somatosensory evoked potential monitoring of the spinal cord. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19:409–415.
35. Shufflbarger HL, Grimm JO, Bui V, et al. Anterior and posterior spinal fusion. Staged versus same-day surgery. *Spine.* 1991;16:930–933.
36. Tamaki T, Noguchi T, Takano H, et al. Spinal cord monitoring as a clinical utilization of the spinal evoked potential. *Clin Orthop Relat Res.* 1984;(184):58–64.
37. Vauzelle C, Stagnara P, Jouvinroux P. Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 1973;93:173–178.
38. Wilson-Holden TJ, Padberg AM, Lenke LG, et al. Efficacy of intraoperative monitoring for pediatric patients with spinal cord pathology undergoing spinal deformity surgery. *Spine.* 1999;24:1685–1692.
39. Yao WL, Wang XR, Li BL, et al. Application of A-line autoregressive model with exogenous input index during the wake-up test in spinal surgery under propofol-remifentanyl anaesthesia. *Chin Med J (Engl.).* 2007;120:1013–1016.
40. Yilmazlar A, Aydinli U, Korfali G, et al. Intraoperative awakening during spine surgery with propofol and alfentanil. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th GICD Congress, Archon, France, 1994:122–124.*

Адрес для переписки:

Новиков Вячеслав Викторович
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,
НИИТО,
VNovikov@niito.ru

Статья поступила в редакцию 14.03.2011

В.В. Новиков, канд. мед. наук; М.В. Новикова, аспирант; С.Б. Цветовский, канд. биол. наук; М.Н. Лебедева, д-р мед. наук; М.В. Михайловский, д-р мед. наук, проф.; А.С. Васюра, канд. мед. наук; Д.Н. Долотин, мл. науч. сотрудник; И.Г. Удалова, канд. мед. наук, Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии. V.V. Novikov, PhD in Medicine; M.V. Novikova, fellow; S.B. Tsvetovskiy, PhD; M.N. Lebedeva, MD; M.V. Mikbailovsky, MD, Prof.; A.S. Vasyura, PhD in Medicine; D.N. Dolotin, junior researcher; I.G. Udalovala, PhD in medicine, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics.