

Методические проблемы развития интраоперационного нейромониторинга при оперативной коррекции деформаций позвоночника (обзор литературы)

М.С. Сайфутдинов, А.А. Скрипников, Д.М. Савин, П.В. Очирова, А.Н. Третьякова

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

Methodological problems of intraoperative neuromonitoring during operative correction of spinal deformity (literature review)

M.S. Saifutdinov, A.A. Skripnikov, D.M. Savin, P.V. Ochirova, A.N. Tret'iakova

FSBI Russian Ilizarov Scientific Center Restorative Traumatology and Orthopaedics of the RF Ministry of Health, Kurgan

Анализ литературы, посвящённой использованию интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в процессе коррекции деформаций позвоночника, показал, что основной тренд развития данного метода направлен на увеличение количества используемых модальностей тестирования. Это порождает усложнение процедуры контроля и в некоторых случаях приводит к неоднозначности интерпретации получаемых данных. Решению методических проблем способствует алгоритмизация процесса мониторинга и формализация получаемой информации.

Ключевые слова: нейрофизиологический мониторинг, вызванные потенциалы, анестезия, деформация позвоночника

Literature review in intraoperative neurophysiological monitoring during spinal deformity correction showed that the increase in the number of neuromonitoring modalities is viewed as a major trend with the technique. This makes the testing procedure more complicated and generates controversies in interpretations of the findings. Algorithmization of monitoring and formalization of the findings can be practical in addressing methodological problems.

Keywords: neurophysiological monitoring, evoked potentials, anesthesia, spine deformity

В настоящее время сформирован комплекс нейрофизиологических методов тестирования, позволяющий с достаточной точностью контролировать в процессе оперативного вмешательства функциональное состояние разных отделов центральной нервной системы (ЦНС), в том числе и спинного мозга с периферическими нервами в частности [1]. Это позволяет эффективно предупреждать ятрогенные повреждения соответствующих структур [2]. Процедура реализации такого контроля получила общее название интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОМН) или просто нейромониторинг. В англоязычной литературе соответственно – intraoperative neurophysiologic monitoring (IONM) или neuromonitoring. Обобщённый под этим названием набор инструментов тестирования должен соответствовать двум требованиям общего характера: иметь высокую чувствительность и специфичность (1) и возможность неоднократного использования с минимальным риском для больных (2) [3]. Средства нейромониторинга делятся на две группы. К первой относятся методы пассивной регистрации динамики выбранных физиологических параметров: спонтанной электрической активности возбудимых тканей, температуры тела в заданной точке [4], а ко второй – получение электрических ответов на тестовый стимул при строгой стандартизации условий раздражения и регистрации сигнала. В качестве такового

может использоваться электрический [5] или магнитный [6] импульсы.

Ряд авторов показали возможность эффективного использования ИОМН при коррекции деформаций позвоночника [7–15]. В настоящее время комплекс методов нейромониторинга успешно распространяется в региональных клиниках Российской Федерации [4, 16] и стран СНГ [17].

Несмотря на высокие значения показателей чувствительности, специфичности и прогностической ценности нейромониторинга [18, 19, 20, 21], общий уровень доказательности данных работ относится ко 2-3 классу, но не соответствует первому [22]. В связи с этим расширение сферы распространения комплекса методов ИОМН выявило ряд методических проблем, которым первоначально уделялось мало внимания. Вслед за волной оптимистических публикаций [10, 21] появились работы [22, 23], отмечающие ряд трудностей, возникающих при внедрении ИОМН в хирургическую практику (рис. 1). В связи с вышесказанным необходимо систематизировать существующие методические и методологические проблемы ИОМН и с этой целью проанализировать отечественные и иностранные литературные источники для определения путей дальнейшего развития системы интраоперационного нейрофизиологического контроля.



Рис. 1. Иерархия взаимосвязей основных методических проблем внедрения ИОНМ в широкую клиническую практику (объяснение в тексте)

Среди выявленных в процессе анализа проблем прежде всего следует отметить (рис. 1, А) отсутствие единства в оценке критического уровня изменений контролируемых параметров. Это связано с тем, что предлагаемые большинством авторов критические значения контролируемых параметров, свидетельствующие о существенном возрастании опасности повреждения нервной ткани, найдены эмпирически. Обзор разногласий анализируется в процессе обобщения накопленных данных [22]. При этом становятся очевидными причины существующих расхождений. В отношении проявлений спонтанной электромиограммы (ЭМГ) или критических значений снижения амплитуды соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) разногласий практически нет. В то время как значимость изменений латентности последних продолжает обсуждаться [4, 24] в связи с тем, что данный параметр обладает повышенной чувствительностью не только к повреждающим воздействиям (механической травме и ишемии), но и к фоновым факторам (температуре [23] и концентрации компонентов анестезии [4]).

Максимально разногласия выражены в определении критических признаков реакции на оперативное вмешательство моторных вызванных потенциалов (МВП). Критичным у разных авторов считается снижение их амплитуды на 50 % [17], 65 % [24], 80 % [25] от исходного уровня. Увеличение латентности отдельными авторами рассматривается как достаточный признак угрозы [16], в то время как другие предлагают принимать его во внимание только при условии снижения амплитуды [24]. Предлагается также учитывать увеличение силы тестового стимула более чем на 50 В, увеличение числа импульсов в серии [25]. Имеются предложения оценивать степень угрозы на основании динамики формы ответов. Однако не прослеживается связь изменений конфигурации МВП и функционального состояния нервных структур по мере его приближения к критическому уровню [22].

Разнообразие критериев опасности при использовании МВП связано с тем, что даже в норме существует их высокая вариативность [26], ошутимо возрастающая в условиях анестезии [27]. Это результат действия комплекса факторов, набор которых непостоянен во времени и не может быть установлен с полной определённой. Эффекты влияния каждого из них на состояние сенсомоторной системы человека в настоящее время хорошо изучены и подробно описаны. Воздействие одних (концентрация компонентов анестезии, кровопотеря, температура) можно учесть с достаточной точностью. Для других необходимая точность достигается только в строгих условиях лаборатории, соблюсти которые в операционной бывает трудно. Тем не менее, есть ясное понимание того, какого рода процессы должны происходить при тех или иных воздействиях в условиях операции. Но нет однозначных критериев того, какие именно из возможных факторов действуют в момент появления электрофизиологических признаков опасности.

Данные трудности отчасти преодолеваются путём совершенствования технологии тестирования. Например, эффект от воздействия тестового стимула зависит от сопротивления биологических тканей, через которые (как через объёмный проводник) он достигает возбуждаемые структуры (нейроны, нервные проводники, рецепторы). Это сопротивление флуктуирует в зависимости от кровенаполнения тканей и их насыщенности другими электролитами и связано с состоянием вегетативной нервной системы. Соответственно меняются характеристики тестового сигнала [22], что вносит свой вклад в вариативность МВП. По этой причине современные приборы оснащены индикатором, демонстрирующим интенсивность тока, фактически прошедшего через ткани. Без такой индикации флуктуации состояния биологического объёмного проводника остаются в числе скрытых факторов, выходящих за рамки контроля. Всё вышеперечисленное затрудняет стандартизацию критериев оценки значимо-

сти изменений МВП. И хотя в настоящее время степень этих разногласий уменьшается, приближение к консенсусу обусловлено накоплением эмпирического опыта нейрофизиологами в процессе практической реализации ИОМН, а не за счёт развития соответствующей теории.

Условно всю совокупность факторов, влияющих на состояние сенсомоторной системы пациента, можно разделить на фоновые и повреждающие. К первым можно отнести давление крови, концентрацию гемоглобина и т.п. Они действуют длительное время. Интенсивность их воздействия плавно колеблется в контролируемом диапазоне, позволяющем считать данное влияние на возбудимые структуры организма нейтральным или умеренным. Ко вторым относятся механическое воздействие на сенсомоторные структуры и ишемия. Они непосредственно связаны с хирургической агрессией и являются источником непосредственной угрозы генерации ятрогенного повреждения. Однако при определённых обстоятельствах интенсивность фоновых факторов может выходить за допустимые границы. При этом они сами могут становиться повреждающими либо вторично генерировать повреждающие воздействия. Что проявляется в изменении характеристик нейрофизиологических ответов [22, 23].

Электрофизиологическая реакция на повреждающее воздействие и скорость её развития во многом зависят от характера повреждения. Если оно имеет механическую природу, то изменения в ССВП наступают в течение двух минут, а если сосудистого генеза, то в пределах 20 минут [28]. В связи с чем, постоянно предпринимаются попытки классификации повреждающих механизмов [29].

Многообразие и неопределённость комплекса факторов, влияющих в операционной на функциональное состояние сенсомоторной системы пациента, порождает (рис. 1, Б) вторую проблему использования ИОМН технологий – наличие ложноположительных реакций [7, 20], заключающихся в отсутствии послеоперационных сенсорных и моторных расстройств, несмотря на критическое снижение амплитудных значений соответствующих ответов вплоть до полного их угнетения. Незначительное количество таких наблюдений, в сумме не превышает 10 %, они всё же требуют интерпретации. Мы полагаем, что их появление связано не только с разногласиями относительно критического уровня изменений контролируемых параметров. Несмотря на то, что в отдельности каждый возможный фактор, способный вызвать критические изменения нейрофизиологических параметров, известен и хорошо изучен, их совокупное действие порождает значительную неопределённость при попытке выстроить систему причинно-следственных связей между наблюдаемыми признаками опасности и их возможными причинами. При этом нейрофизиолог во взаимодействии с анестезиологом решает обратную задачу – ищет причину (из нескольких вероятных) по набору признаков. Однако известно, что обратные задачи относятся к некорректно сформулированным [30].

С первой и второй проблемами тесно связана третья (рис. 1, В) – наличие разногласий в том, какую информацию нейрофизиолог должен сообщать хирургу. Нужно ли ему знать обо всех изменениях параметров, независимо от степени их критичности либо должны сообщаться только изменения, свидетельствующие о высоком уровне потенциальной опасности, чтобы минимизировать информационное давление на кон-

центрацию внимания хирурга. По нашему мнению, данный вопрос должен решаться с учётом личностных особенностей и квалификации взаимодействующих хирурга, нейрофизиолога и анестезиолога, а также сложности оперативного вмешательства.

В настоящее время для решения перечисленных проблем технология ИОМН развивается по экстенсивному пути: увеличению количества мониторируемых показателей, которые дают дополнительную информацию о состоянии нервной ткани в процессе операции и позволяют повысить надёжность нейрофизиологического заключения по каждому критическому эпизоду.

Из ретроспективного анализа истории ИОМН видно, что для данного подхода есть веские основания. Первоначальное использование ССВП в качестве инструмента ИОМН [21] позволяло обеспечивать сохранность сенсорных проводящих путей и реагировать на ситуации, ведущие к глобальным повреждениям спинного мозга [31]. Однако постепенно стали накапливаться сведения об отсутствии реакции со стороны ССВП и последующем выявлении моторных расстройств в послеоперационном периоде [22, 32, 33, 34], а также случаи существенного запаздывания реакции ССВП относительно реакции МВП [35, 36].

Ввиду анатомической и физиологической автономии сенсорных и моторных путей [22, 23] использование для ИОМН только ССВП оставляло состояние последних, а также вентральных корешков без нейрофизиологического контроля [23]. Более высокая чувствительность к ишемии моторных путей, чем сенсорных [22], и наличие автономного кровоснабжения восходящего сенсорного и пирамидного трактов потребовали введения дополнительного контроля моторных путей спинного мозга, таких как спонтанная ЭМГ и МВП [10, 13]. Это позволило, с одной стороны, существенно уменьшить количество послеоперационных моторных расстройств и случаев использования wake up тестов [4], но, с другой стороны, увеличило жёсткость требований к анестезии.

Меньшая чувствительность ранних компонентов ССВП к воздействию анестезии позволяет, сравнивая их динамику с изменениями МВП на протяжении операции, оценивать флуктуации возбудимости элементов пирамидной системы, вызванные влиянием фармакологического воздействия [23, 37], что повышает уровень надёжности сделанных заключений.

Использование МВП для ИОМН минимизирует использование миорелаксантов, что создаёт ряд технических сложностей. Все случаи вынужденного их применения должны быть учтены при интерпретации нейрофизиологической информации и отмечены в протоколе ИОМН. После введения миорелаксанта возможно пассивное ожидание восстановления возбудимости мышц-индикаторов (если в этот период хирург не выполняет потенциально опасных для спинного мозга действий) либо последующее введение препаратов, восстанавливающих синаптическую передачу. Однако последнее увеличивает фармакологическую нагрузку на пациента. Решение в таких случаях должно приниматься в соответствии с текущими обстоятельствами.

В качестве дополнительного инструмента нейрофизиологического контроля состояния проводящих путей при необходимости использования миорелаксантов в процессе операции может быть использована регистра-

ция активности, отводимой от спинного мозга – D-волна [2]. Она не зависит от состояния нервно-мышечных синапсов. Но при этом вблизи зоны хирургической активности требуется введение соответствующих электродов, что в некоторых случаях может усложнять работу хирурга. Кроме того D-волна не позволяет в достаточной степени точно локализовать сторону повреждения.

Как отмечают многие авторы, совместное использование ССВП и МВП тестирования является более эффективным, чем использование этих методов в отдельности [12, 14, 38, 39]. Поэтому в настоящее время данная схема ИОМН (рис. 2) стала стандартом при оперативном вмешательстве на позвоночнике [2]. Она, в частности, позволяет минимизировать использование wake-up теста [40].

Процессы контроля спонтанной ЭМГ и получения ССВП полностью индифферентны для организма пациента. С использованием в целях мониторинга МВП связан относительно небольшой набор противопоказаний [22] и возможных осложнений [41]. К противопоказаниям для МВП-мониторинга относят эпилепсию, повреждение головного мозга, дефекты черепа, высокое внутричерепное давление, наличие имплантированных интракраниальных устройств (электроды, сосудистые клипсы, шунты и прочее), а также кардиостимуляторы или другие, подобные им, имплантированные устройства [22].

Самым частым осложнением при получении МВП выступает повреждение языка (опасность легко устраняется с помощью применения марлевого тампона в качестве прокладки между зубами). Следующей по частоте встречаемости выступает сердечная аритмия (в сравнении с повреждением языка отмечается значительно реже, легко выявляется анестезиологом).

Далее идут ожоги скальпа в области размещения стимулирующих электродов (отмечаются очень редко). Имеется даже совершенно уникальное сообщение о последствии термического воздействия на моторную кору при транскраниальной стимуляции [42]. Следует подчеркнуть, что все эти возможные осложнения связаны с ситуацией использования стимулов высокой интенсивности в условиях, когда их несколько раз приходится повторять, т.е. в случаях, когда возбудимость ЦНС исходно значительно снижена и/или имеются выраженные аномалии в локализации проекционных зон моторной коры. В доступной нам литературе не отмечено случаев попадания инфекции через электроды (хотя потенциально такая возможность существует), возникновения повреждений, связанных с движениями тела, вызванными стимуляцией, психических проблем, головных болей или других отклонений в состоянии ЦНС, связанных с длительным воздействием электрических импульсов на мозг.

Тестирование общего состояния пирамидного тракта требует минимального количества мышц-индикаторов активности. Однако установка винтов, фиксирующих конструкцию, создаёт потенциальную угрозу для корешков спинного мозга. Этот процесс возможно контролировать нейрофизиологически, отслеживая появление спонтанной ЭМГ, а также с использованием МВП при транскраниальной стимуляции моторной коры либо при прямой стимуляции паравертебральных тканей при тестировании возможных контактов транспедикулярных винтов с корешками спинного мозга. Но при этом требуется увеличение количества отведений в соответствии с числом заинтересованных корешков.



Рис. 2. Под комплексным воздействием хирургической агрессии и общей анестезии через интенсивную interoцепцию (включая ноцицептивную активность) перестройки микроциркуляции и сдвиги возбудимости нейронных сетей ЦНС изменяется характер передачи сигнала от точки стимуляции (для ССВП – сенсорная фракция периферического нерва; для МВП – корковая проекция представителя мышцы-индикатора) до точки отведения вызванного ответа (для ССВП – область представления в соматосенсорной коре сенсорных структур соответствующих конечностей; для МВП – набор мышц-индикаторов). На данный фоновый эффект накладываются возможные последствия повреждающего воздействия механической травмы и/или ишемии

Однако даже совместное использование ССВП и МВП тестирования и увеличение количества отведений активности не исключает возникновения ложноположительных реакций, поэтому было предложено использовать дополнительный контроль температуры в заданных точках нижних конечностей [4].

Таким образом, краткий ретроспективный анализ показывает, что основной тренд развития методов интраоперационного нейрофизиологического контроля направлен на экстенсивное развитие данного направления, т.е. в сторону увеличения количества отведений активности и модальностей информационных каналов. Соответственно возрастает объём получаемой информации. Выходят работы, направленные на доказательство эффективности такого подхода [43], особенно при сложных операциях с высокой степенью риска [19].

Экстенсивное расширение набора контролируемых методов и объёма мониторируемых показателей ведёт (рис. 1, Г) к усугублению четвёртой методической проблемы – усложнению процедуры нейромониторинга, подготовки к нему и соответствующему увеличению требуемого для этого времени. Возрастает также объём расходных материалов (чаще всего одноразовых), используемых для реализации нейрофизиологического контроля, что повышает (иной раз существенно) стоимость оперативного вмешательства.

С ростом полимодальности ИОНМ возрастает сложность интерпретации наблюдаемых изменений [23] ввиду многофакторности воздействия. В связи с этим методическая проблема приобретает методологи-

ческий аспект, ориентирующий специалистов в данной области на дальнейшее развитие теоретических оснований интерпретации комплексной динамики большого набора параметров.

Издержки экстенсивного пути развития технологий ИОНМ осознавались специалистами, в связи с чем производились попытки упростить схему тестирования. С этой целью сравнивались методы ССВП и МВП [5, 9, 10, 45], чтобы выяснить случаи, когда можно обойтись использованием лишь одного из них. В итоге может сложиться гибкая схема выбора узкого набора нейрофизиологических методов из потенциально большого арсенала инструментов контроля в зависимости от конкретных задач и условий предстоящей операции. Данный подход требует дальнейшего развития эффективной системы интерпретации собираемой информации. В этой связи возрастает роль предварительных нейрофизиологических обследований пациента (рис. 3) в дооперационном периоде [2]. Электроэнцефалография и вызванные потенциалы позволяют выявить возможные противопоказания, связанные с ЦНС, и исходное состояние сенсорной системы, которое у пациентов со значительными деформациями позвоночника может быть существенно изменено. ЭМГ-обследование даст важную информацию относительно исходного состояния моторной системы пациента, на основании которой выбирается оптимальный набор мышц для отведения МВП. Предварительная нейрофизиологическая информация может быть эффективно использована в процессе ИОНМ.

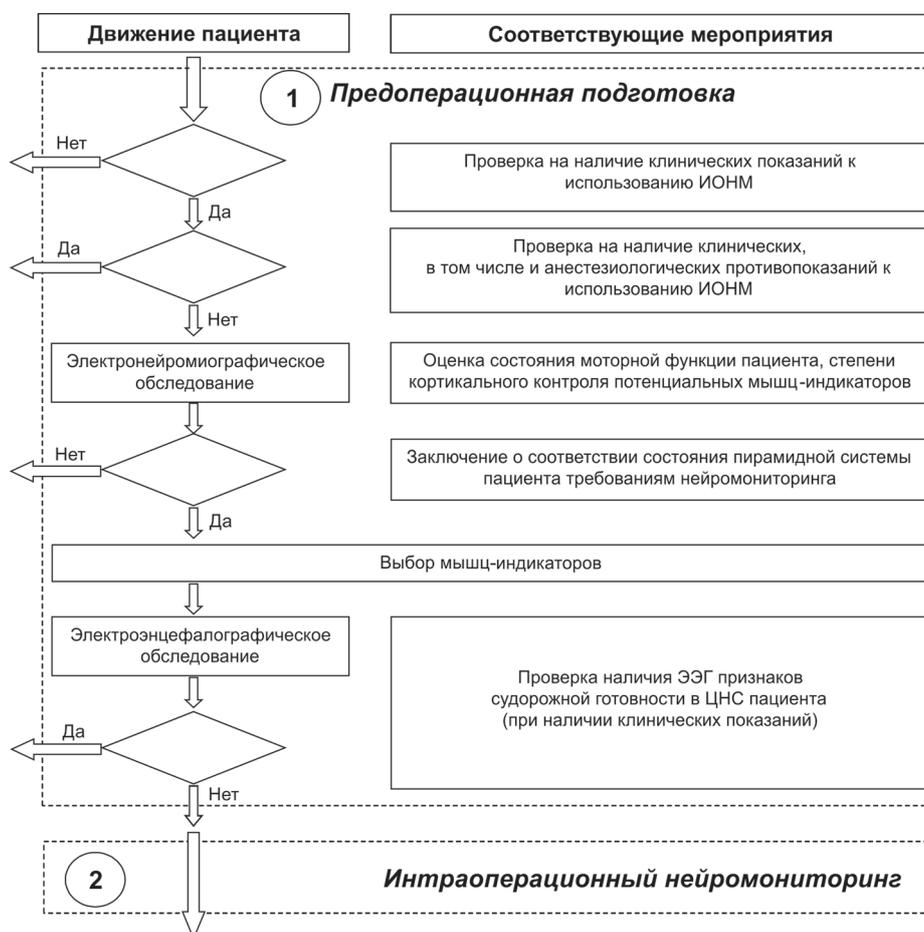


Рис. 3. Принятая в РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова схема предоперационной подготовки пациента к использованию интраоперационного нейрофизиологического мониторинга

Обобщая данные литературы и опираясь на собственный опыт проведения ИОМН при оперативной коррекции деформации позвоночника, мы видим, что данный метод контроля успешно применяется в широкой клинической практике и имеет значительный потенциал для дальнейшего развития и совершенствования с учётом направленности на решение выделенных нами четырёх методических проблем. Для этого, во-первых, необходимо дальнейшее совершенствование теории комплексного использования методов ИОМН на основе формализации, получаемой в процессе интраоперационного нейрофизиологического контроля информации. Это позволит повысить эффективность анализа собранных данных и уменьшить неопределённость при рассмотрении совокупности действующих причин, вызывающих тот или иной наблюдаемый в

конкретных условиях нейрофизиологический феномен (снижение амплитуды ответа, изменение количества его фаз и латентности и т.п.). Первым шагом внедрения такой формализации может быть введение различных ранговых показателей и соответствующих шкал, отображающих различные виды электрофизиологической реакции проводящих систем мозга и связанную с ними степень риска ятрогенных повреждений.

Во-вторых, необходима оптимизация процедуры комплексного полимодального ИОМН с использованием различных модификаций ЭМГ [46], ССВП и МВП [38]. Для этого нужно сформировать алгоритм предоперационной подготовки ИОМН (рис. 3) и его проведения (рис. 4). При этом формализация получаемой информации может быть успешно использована для совершенствования предложенного алгоритма.

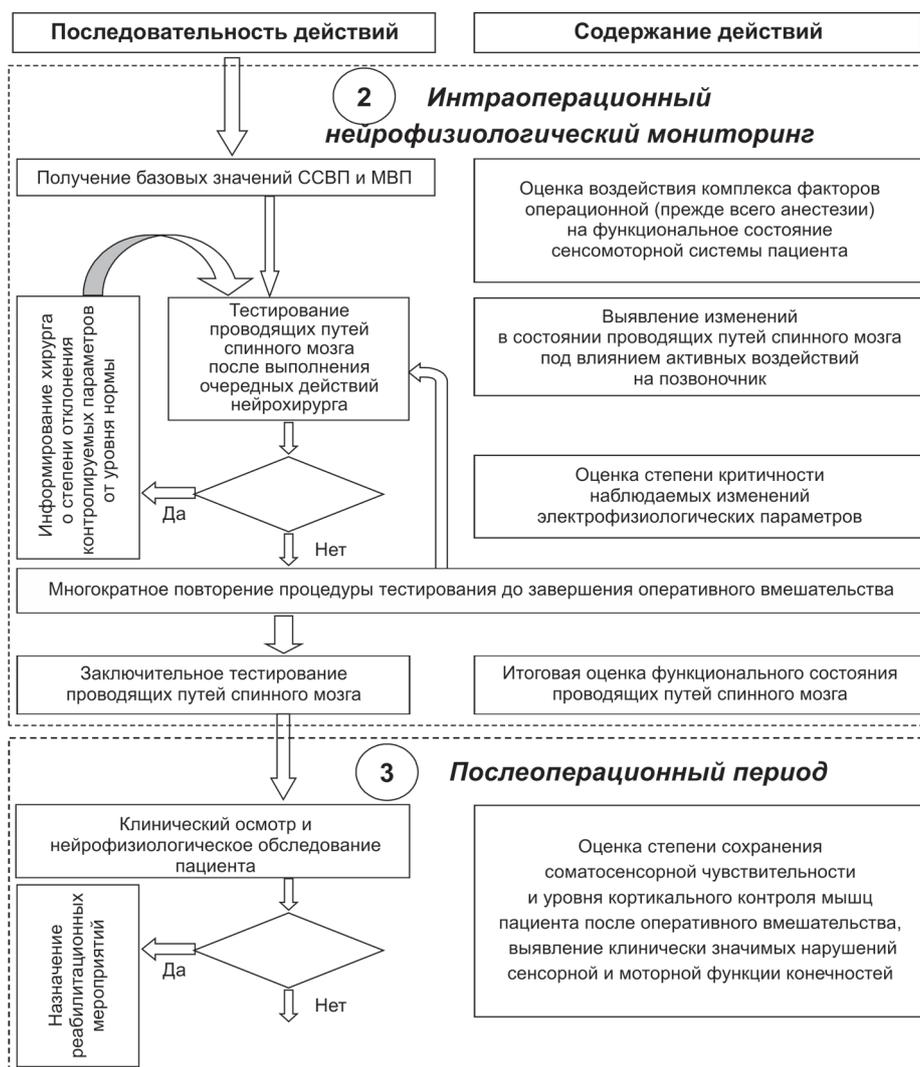


Рис. 4. Принятая в РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова схема проведения интраоперационного мониторинга

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, интраоперационный нейрофизиологический мониторинг является современным высокотехнологичным методом контроля функционального состояния соматосенсорных и пирамидных путей спинного мозга в процессе коррекции деформации позвоночника. Он эффективно выявляет и позволяет предотвратить большую часть ятрогенных повреждений нервных структур. Существующие

при его использовании технические, методические и методологические проблемы не являются препятствием к его широкому использованию и могут быть успешно разрешены в ближайшем будущем. В их решении содержится потенциал дальнейшего развития метода на основе формализации собираемой информации и оптимизации процедуры проведения ИОМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Intraoperative spinal cord and nerve root monitoring: a survey of Canadian spine surgeons / L. Peeling, S. Hentschel, R. Fox, H. Hall, D.R. Fourney // *Can. J. Surg.* 2010. Vol. 53, No 5. P. 324-328.
2. Gibson P.R. Anaesthesia for correction of scoliosis in children // *Anaesth. Intensive Care.* 2004. Vol.32, No 4. P. 548-559.
3. Padberg A.M., Bridwell K.H. Spinal cord monitoring: current state of the art // *Orthop. Clin. North. Am.* 1999. Vol. 30, No 3. P. 407-433.
4. 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 // *Хирургия позвоночника.* 2011. № 3. С. 66-76.
5. «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 / B. Calancie, W. Harris, J.G. Broton, N. Alexeeva, B.A. Green // *J. Neurosurg.* 1998. Vol. 88, No 3. P. 457-470.
6. Transcranial magnetic motor evoked potentials (tcMMEP) for functional monitoring of motor pathways during scoliosis surgery / H.L. Edmonds Jr., M.P. Paloheimo, M.H. Backman, J.R. Johnson, R.T. Holt, C.B. Shields // *Spine.* 1989. Vol. 14, No 7. P. 683-686.
7. Spinal Cord Monitoring Data in Pediatric Spinal Deformity Patients With Spinal Cord Pathology / A.W. Aleem, E.D. Thuet, A.M. Padberg, M. Wallendorf, S.J. Luhmann // *Spine Deformity.* 2015. Vol. 3. P. 88-94.
8. Deletis V., Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts // *Clin. Neurophysiol.* 2008. Vol. 119, No 2. P. 248-264.
9. Neuromonitoring changes in pediatric spinal deformity surgery: a single-institution experience / J. Ferguson, S.W. Hwang, Z. Tataryn, A.F. Samdani // *J. Neurosurg. Pediatr.* 2014. Vol. 13, No 3. P. 247-254.
10. Transcranial motor-evoked potentials combined with response recording through compound muscle action potential as the sole modality of spinal cord monitoring in spinal deformity surgery / B. Hsu, A.K. Cree, J. Lagopoulos, J.L. Cummine // *Spine.* 2008. Vol. 33, No 10. P. 1100-1106.
11. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine deformity surgery / S.W. Hwang, N.R. Malhotra, C.I. Shaffrey, A.F. Samdani // *Spine Deformity.* [Preview September]. 2012: 64-70.
12. Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory-evoked potentials from the lower and upper extremities / D.B. MacDonald, Z. Al Zayed, I. Khoudeir, B. Stigsby // *Spine.* 2003. Vol. 28, No 2. P. 194-203.
13. Anterior spinal cord injury with preserved neurogenic 'motor' evoked potentials / R.E. Minahan, J.P. Sepkuty, R.P. Lesser, P.D. Sponseller, J.P. Kostuik // *Clin. Neurophysiol.* 2001. Vol. 112, No 8. P. 1442-1450.
14. Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery / L. Pelosi, J. Lamb, M. Grevitt, S.M. Mehdian, J.K. Webb, L.D. Blumhardt // *Clin. Neurophysiol.* 2002. Vol. 113, No 7. P. 1082-1091.
15. Stecker M.M. A review of intraoperative monitoring for spinal surgery // *Surg. Neurol. Int.* 2012. Vol. 3, Suppl. 3. P. S174-S87.
16. Белова А.Н., Балдова С.Н., Казьмин А.В. Использование интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при операциях на позвоночнике и спинном мозге // *Вопр. травматологии и ортопедии.* 2014. № 2 (9). С. 21-25.
17. Опыт применения интраоперационного нейромониторинга при проведении хирургических вмешательств на позвоночнике / С.Д. Карибай, А.З. Нурпеисов, А.В. Ахметжанов, Р.Ш. Танкачиев, И.Ж. Галиев, Ю.А. Дихтярь, К.К. Ахметов, Б.С. Мустафаев, А.Е. Семенова // *Нейрохирургия и неврология Казахстана.* 2014. № 1. С. 25-28.
18. The value of somatosensory- and motor-evoked potentials in predicting and monitoring the effect of therapy in spondylotic cervical myelopathy. Prospective randomized study / J. Bednarik, Z. Kadanka, S. Vohánka, L. Stejskal, O. Vlach, R. Schröder // *Spine.* 1999. Vol. 24, No 15. P.1593-1598.
19. Predictive value of intraoperative neurophysiological monitoring during cervical spine surgery: a prospective analysis of 1055 consecutive patients / M.O. Kelleher, G. Tan, R. Sarjeant, M.G. Fehlings // *J. Neurosurg. Spine.* 2008. Vol. 8, No 3. P. 215-221.
20. Risk factors for false positive transcranial motor evoked potential monitoring alerts during surgical treatment of cervical myelopathy / D.H. Kim, J. Zaremski, B. Kwon, L. Jenis, E. Woodard, R. Bode, R.J. Banco // *Spine.* 2007. Vol. 32, No 26. P. 3041-3046.
21. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey / M.R. Nuwer, E.G. Dawson, L.G. Carlson, L.E. Kanim, J.E. Sherman // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1995. Vol. 96, No 1. P. 6-11.
22. Jameson L.C. Transcranial Motor Evoked Potentials. In: *Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals* / Eds. A. Koht, T.B. Sloan, J.R. Toleikis. Chapter 2. 2012. XXXVI: 27-45.
23. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: a review / A.A. Gonzalez, D. Jeyanandarajan, C. Hansen, G. Zada, P.C. Hsieh // *Neurosurg. Focus.* 2009. Vol. 27, No 4. P. E6.
24. Роль интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в предотвращении развития послеоперационных неврологических осложнений в хирургии сколиотической деформации позвоночника / М.А. Хить, С.В. Колесов, Д.А. Колбовский, Н.С. Морозова // *Нервно-мышечные болезни.* 2014. № 2. С. 36-41.
25. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients / D.D. Langeloo, A. Lelivelt, H. Louis Journée, R. Slappendel, M. de Kleuver // *Spine.* 2003. Vol. 28, No 10. P. 1043-1050.
26. Wassermann E.M. Variation in the response to transcranial magnetic brain stimulation in the general population // *Clin. Neurophysiol.* 2002. Vol. 113, No 7. P. 1165-1171.
27. Sloan T.B. Evoked potentials. Anesthesia and motor evoked potentials monitoring. In: *Neurophysiology in Neurosurgery* / Eds. V. Deletis, J. Shills J. Academic: San Diego, 2002. P. 451-464.
28. Use of sciatic neurogenic motor evoked potentials versus spinal potentials to predict early-onset neurologic deficits when intervention is still possible during overdistraction / Y. Kai, J.H. Owen, L.G. Lenke, K.H. Bridwell, D.M. Oakley, Y. Sugioka // *Spine.* 1993. Vol. 18, No 9. P. 1134-1139.
29. Various mechanisms of spinal cord injury during scoliosis surgery / J. Delectrin, J.M. Bernard, Y. Pereon et al. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery: Proc. of the 11th Intern. GICD Congress, Arcachon, France.* 1994. P. 13-14.
30. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. Тарапог, 2000. 680 с.
31. Nuwer M.R. Spinal cord monitoring with somatosensory techniques // *J. Clin. Neurophysiol.* 1998. Vol. 15, No 3. P. 183-193.
32. Ben-David B., Haller G., Taylor P. Anterior spinal fusion complicated by paraplegia. A case report of a false-negative somatosensory-evoked potential // *Spine.* 1987. Vol. 12, No 6. P. 536-539.
33. Spinal cord monitoring: Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey / E.G. Dawson, J.E. Sherman, L.E. Kanim, M.R. Nuwer // *Spine.* 1991. Vol. 16, No 8 Suppl. P. S361-S364.
34. Validity and reliability of spinal cord monitoring in neuromuscular spinal deformity surgery / A.M. Padberg, M.H. Russo, L.G. Lenke, K.H. Bridwell, R.M. Komanevsky // *J. Spinal Disord.* 1996. Vol. 9, No 2. P. 150-158.
35. Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery / D.M. Schwartz, J.D. Auerbach, J.P. Dormans, J. Flynn, D.S. Drummond, J.A. Bowe, S. Laufer, S.A. Shah, J.R. Bowen, P.D. Pizzutillo, K.J. Jones, D.S. Drummond // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2007. Vol. 89, No 11. P. 2440-2449.
36. Impact of anesthesia on transcranial electric motor evoked potential monitoring during spine surgery: a review of the literature / A.C. Wang, K.D. Than, A.B. Etame, F. La Marca, P. Park // *Neurosurg. Focus.* 2009. Vol. 27, No 4. P. E7.
37. Effects of ketamine and propofol on motor evoked potentials elicited by intracranial microstimulation during deep brain stimulation / H. Furnaga, H.J. Park, J. Cooperrider, K.B. Baker, M. Johnson, J.T. Gale, A.G. Machado // *Front. Syst. Neurosci.* 2014. Vol. 8. P. 89.
38. Assessment of corticospinal and somatosensory conduction simultaneously during scoliosis surgery / D. Burke, R. Hicks, J. Stephen, I. Woodforth, M. Crawford // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1992. Vol. 85, No 6. P. 388-396.
39. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials / M.R. Nuwer, R.G. Emerson, G. Galloway, A.D. Legatt, J. Lopez, R. Minahan, T. Yamada, D.S. Goodin, C. Armon, V. Chaudhry, G.S. Gronseth,

- C.L. Harden; American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine // J. Clin. Neurophysiol. 2012. Vol. 29, No 1. P. 101-108.
40. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care / A.M. Padberg, T.J. Wilson-Holden, L.G. Lenke, K.H. Bridwell // Spine. 1998. Vol. 23, No 12. P. 1392-1400.
41. Legatt A.D. Current practice of motor evoked potential monitoring: results of a survey // J. Clin. Neurophysiol. 2002. Vol. 19, No 5. P. 454-460.
42. Macdonald D.B. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update // J. Clin. Monit. Comput. 2006. Vol. 20, No 5. P. 347-377.
43. Multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during 409 lumbosacral surgical procedures in 409 patients / M.A. Sutter, A. Eggspuehler, D. Grob, F. Porchet, D. Jeszenszky, J. Dvorak // Eur. Spine J. 2007. Vol. 16, Suppl. 2. P. S221-S228.
44. Bose B., Sestokas A.K., Schwartz D.M. Neurophysiological monitoring of spinal cord function during instrumented anterior cervical fusion // Spine J. 2004. Vol. 4, No 2. P. 202-207.
45. Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery / A.S. Hilibrand, D.M. Schwartz, V. Sethuraman, A.R. Vaccaro, T.J. Albert // J. Bone Joint Surg. Am. 2004. Vol. 86-A, No 6. P. 1248-1253.
46. Effectiveness of EMG use in pedicle screw placement for thoracic spinal deformities / A. Oner, C.G. Ely, J.T. Hermsmeyer, D.C. Norvell // Evid. Based Spine Care J. 2012. Vol. 3, No 1. P. 35-43.
47. Jones S.J., Buonomassa S., Crocckard H.A. Two cases of quadriplegia following anterior cervical discectomy, with normal perioperative somatosensory evoked potentials // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 2003. Vol. 74, No 2. P. 273-276.

REFERENCES

1. Peeling L., Hentschel S., Fox R., Hall H., Fournay D.R. Intraoperative spinal cord and nerve root monitoring: a survey of Canadian spine surgeons. *Can. J. Surg.*, 2010, vol. 53, no. 5, pp. 324-328.
2. Gibson P.R. Anaesthesia for correction of scoliosis in children. *Anaesth. Intensive Care*, 2004, vol.32, no. 4, pp. 548-559.
3. Padberg A.M., Bridwell K.H. Spinal cord monitoring: current state of the art. *Orthop. Clin. North Am.*, 1999, vol. 30, no. 3, pp. 407-433.
4. Novikov V.V., Novikova M.V., Tsvetovskii S.B., Lebedeva M.N., Mikhailovskii M.V., Vasiura A.S., Dolotin D.N., Udalovala I.G. Profilaktika neurologicheskikh oslozhnenii pri khirurgicheskoi korrektsii grubyykh deformatsii pozvonochnika [Prevention of neurological complications during surgical correction of the spine gross deformities]. *Khirurgiia pozvonochnika*, 2011, no.3, pp. 66-76. (In Russ.)
5. Calancie B., Harris W., Broton J.G., Alexeeva N., Green B.A. «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, vol. 88, no. 3, pp. 457-470.
6. Edmonds H.L.Jr., Paloheimo M.P., Backman M.H., Johnson J.R., Holt R.T., Shields C.B. Transcranial magnetic motor evoked potentials (tcMMEP) for functional monitoring of motor pathways during scoliosis surgery. *Spine*, 1989, vol. 14, no. 7, pp. 683-686.
7. Aleem A.W., Thuet E.D., Padberg A.M., Wallendorf M., Luhmann S.J. Spinal Cord Monitoring Data in Pediatric Spinal Deformity Patients With Spinal Cord Pathology. *Spine Deformity*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 88-94.
8. Deletis V., Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clin. Neurophysiol.*, 2008, vol. 119, no. 2, pp. 248-264.
9. Ferguson J., Hwang S.W., Tataryn Z., Samdani A.F. Neuromonitoring changes in pediatric spinal deformity surgery: a single-institution experience. *J. Neurosurg. Pediatr.*, 2014, vol. 13, no. 3, pp. 247-254.
10. Hsu B., Cree A.K., Lagopoulos J., Cummine J.L. Transcranial motor-evoked potentials combined with response recording through compound muscle action potential as the sole modality of spinal cord monitoring in spinal deformity surgery. *Spine*, 2008, vol. 33, no. 10, pp. 1100-1106.
11. Hwang S.W., Malhotra N.R., Shaffrey C.I., Samdani A.F. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine deformity surgery. *Spine Deformity [Preview September]*, 2012, pp. 64-70.
12. MacDonald D.B., Al Zayed Z., Khoudair I., Stigsby B. Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory-evoked potentials from the lower and upper extremities. *Spine*, 2003, vol. 28, no. 2, pp. 194-203.
13. Minahan R.E., Sepkuty J.P., Lesser R.P., Sponseller P.D., Kostuik J.P. Anterior spinal cord injury with preserved neurogenic 'motor' evoked potentials. *Clin. Neurophysiol.*, 2001, vol. 112, no. 8, pp. 1442-1450.
14. Pelosi L., Lamb J., Grevitt M., Mehdian S.M., Webb J.K., Blumhardt L.D. Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery. *Clin. Neurophysiol.*, 2002, vol. 113, no. 7, pp. 1082-1091.
15. Stecker M.M. A review of intraoperative monitoring for spinal surgery. *Surg. Neurol. Int.*, 2012, vol. 3, no. Suppl. 3, pp. S174-S87.
16. Belova A.N., Baldova S.N., Kaz'min A.V. Ispol'zovanie intraoperatsionnogo neurofiziologicheskogo monitoringa pri operatsiakh na pozvonochnike i spinnom mozge [Use of intraoperative neurophysiological monitoring when performing surgeries of the spine and spinal cord]. *Vopr. travmatologii i ortopedii*, 2014, no. 2 (9), pp. 21-25. (In Russ.)
17. Karibai S.D., Nurpeisov A.Z., Akhmetzhanov A.V., Tankacheev R.Sh., Galiev I.Zh., Dikhtiar' Iu.A., Akhmetov K.K., Mustafaev B.S., Semenova A.E. Opyt primeneniia intraoperatsionnogo neiromonitoringa pri provedenii khirurgicheskikh vmeshatel'stv na pozvonochnike [Experience of using intraoperative neuromonitoring in the process of surgical interventions of the spine]. *Neirokhirurgiia i nevrologiia Kazakhstana*, 2014, no. 1, pp. 25-28. (In Russ.)
18. Bednarik J., Kadanka Z., Vohanka S., Stejskal L., Vlach O., Schröder R. The value of somatosensory- and motor-evoked potentials in predicting and monitoring the effect of therapy in spondylotic cervical myelopathy. Prospective randomized study. *Spine*, 1999, vol. 24, no. 15, pp. 1593-1598.
19. Kai Y., Owen J.H., Lenke L.G., Bridwell K.H., Oakley D.M., Sugioka Y. Predictive value of intraoperative neurophysiological monitoring during cervical spine surgery: a prospective analysis of 1055 consecutive patients. *J. Neurosurg. Spine*, 2008, vol. 8, no. 3, pp. 215-221.
20. Kim D.H., Zaremski J., Kwon B., Jenis L., Woodard E., Bode R., Banco R.J. Risk factors for false positive transcranial motor evoked potential monitoring alerts during treatment of cervical myelopathy. *Spine*, 2007, vol. 32, no. 26, pp. 3041-3046.
21. Nuwer M.R., Dawson E.G., Carlson L.G., Kanim L.E., Sherman J.E. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 1995, vol. 96, no. 1, pp. 6-11.
22. Jameson L.C. Transcranial Motor Evoked Potentials. In: Koht A., Sloan T.B., Toleikis J.R., eds. *Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals*. Chapter 2. 2012, vol. XXXVI, pp. 27-45.
23. Gonzalez A.A., Jeyanandarajan D., Hansen C., Zada G., Hsieh P.C. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: a review. *Neurosurg. Focus*, 2009, vol. 27, no. 4, pp. E6.
24. Khit' M.A., Kolesov S.V., Kolbovskii D.A., Morozova N.S. Rol' intraoperatsionnogo neurofiziologicheskogo monitoringa v predotvrashchenii razvitiia posleoperatsionnykh neurologicheskikh oslozhnenii v khirurgii skolioticheskoi deformatsii pozvonochnika [Role of intraoperative neurophysiological monitoring in preventing postoperative neurological complications in the surgery of the spine scoliotic deformity]. *Nervno-myshechnye bolezni*, 2014, no. 2, pp. 36-41. (In Russ.)
25. Langeloo D.D., Lelivelt A., Louis Journée H., Slappendel R., De Kleuver M. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients. *Spine*, 2003, vol. 28, no. 10, pp. 1043-1050.
26. Wassermann E.M. Variation in the response to transcranial magnetic brain stimulation in the general population. *Clin. Neurophysiol.*, 2002, vol. 113, no. 7, pp. 1165-1171.
27. Sloan T.B. Evoked potentials. Anesthesia and motor evoked potentials monitoring. In: Deletis V., Shils J.L., eds. *Neurophysiology in Neurosurgery*. California: Academic Press, 2002, pp. 25-51.
28. Kai Y., Owen J.H., Lenke L.G., Bridwell K.H., Oakley D.M., Sugioka Y. 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, vol. 18, no. 9, pp. 1134-1139.
29. Delecrin J., Bernard J.M., Pereaon Y. et al. Various mechanisms of spinal cord injury during scoliosis surgery. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery: Proc. of the 11th Intern. GICD Congress*. Arcachon, France, 1994, pp. 13-14.

30. Gnezditskii V.V. *Obratnaia zadacha EEG i klinicheskaia elektroentsefalografia* [EEG inverse problem and clinical electroencephalography]. Taganrog, 2000, 680 p. (In Russ.)
31. Nuwer M.R. Spinal cord monitoring with somatosensory techniques. *J. Clin. Neurophysiol.*, 1998, vol. 15, no. 3, pp. 183-193.
32. Ben-David B., Haller G., Taylor P. Anterior spinal fusion complicated by paraplegia. A case report of a false-negative somatosensory-evoked potential. *Spine*, 1987, vol. 12, no. 6, pp. 536-539.
33. Dawson E.G., Sherman J.E., Kanim L.E., Nuwer M.R. Spinal cord monitoring: Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey. *Spine*, 1991, vol. 16, no. 8 Suppl., pp. S361-S364.
34. Padberg A.M., Russo M.H., Lenke L.G., Bridwell K.H., Komaneetsky R.M. Validity and reliability of spinal cord monitoring in neuromuscular spinal deformity surgery. *J. Spinal Disord.*, 1996, vol. 9, no. 2, pp. 150-158.
35. Schwartz D.M., Auerbach J.D., Dormans J.P., Flynn J., Drummond D.S., Bowe J.A., Laufer S., Shah S.A., Bowen J.R., Pizzutillo P.D., Jones K.J., Drummond D.S. Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2007, vol. 89, no. 11, P. 2440-2449.
36. Wang A.C., Than K.D., Etame A.B., La Marca F., Park P. Impact of anesthesia on transcranial electric motor evoked potential monitoring during spine surgery: a review of the literature. *Neurosurg. Focus*, 2009, vol. 27, no. 4, pp. E7.
37. Furmaga H., Park H.J., Cooperrider J., Baker K.B., Johnson M., Gale J.T., Machado A.G. Effects of ketamine and propofol on motor evoked potentials elicited by intracranial microstimulation during deep brain stimulation. *Front. Syst. Neurosci.*, 2014, vol. 8, pp. 89.
38. Burke D., Hicks R., Stephen J., Woodforth I., Crawford M. Assessment of corticospinal and somatosensory conduction simultaneously during scoliosis surgery. *Clin. Neurophysiol.*, 1992, vol. 85, no. 6, pp. 388-396.
39. Nuwer M.R., Emerson R.G., Galloway G., Legatt A.D., Lopez J., Minahan R., Yamada T., Goodin D.S., Armon C., Chaudhry V., Gronseth G.S., Harden C.L.; American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials. *J. Clin. Neurophysiol.*, 2012, vol. 29, no. 1, pp. 101-108.
40. Padberg A.M., Wilson-Holden T.J., Lenke L.G., Bridwell K.H. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care. *Spine*, 1998, vol. 23, no. 12, pp. 1392-1400.
41. Legatt A.D. Current practice of motor evoked potential monitoring: results of a survey. *J. Clin. Neurophysiol.*, 2002, vol. 19, no. 5, pp. 454-460.
42. Macdonald D.B. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J. Clin. Monit. Comput.*, 2006, vol. 20, no. 5, pp. 347-377.
43. Sutter M.A., Eggespuehler A., Grob D., Porchet F., Jeszenszky D., Dvorak J. Multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during 409 lumbosacral surgical procedures in 409 patients. *Eur. Spine J.*, 2007, vol. 16, no. Suppl. 2, pp. S221-S228.
44. Bose B., Sestokas A.K., Schwartz D.M. Neurophysiological monitoring of spinal cord function during instrumented anterior cervical fusion. *Spine J.*, 2004, vol. 4, no. 2, pp. 202-207.
45. Hilibrand A.S., Schwartz D.M., Sethuraman V., Vaccaro A.R., Albert T.J. Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2004, vol. 86-A, no. 6, pp. 1248-1253.
46. Oner A., Ely C.G., Hermsmeyer J.T., Norvell D.C. Effectiveness of EMG use in pedicle screw placement for thoracic spinal deformities. *Evid. Based Spine Care J.*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 35-43.
47. Jones S.J., Buonomassa S., Crocckard H.A. Two cases of quadriplegia following anterior cervical discectomy, with normal perioperative somatosensory evoked potentials. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 2003, vol. 74, no. 2, pp. 273-276.

Рукопись поступила 17.09.2015

Сведения об авторах:

1. Сайфутдинов Марат Саматович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, научная клинко-экспериментальная лаборатория патологии осевого скелета и нейрохирургии, ведущий научный сотрудник группы клинической нейрофизиологии, д. б. н.
2. Скрипников Александр Анатольевич – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, научная клинко-экспериментальная лаборатория патологии осевого скелета и нейрохирургии, научный сотрудник группы клинической нейрофизиологии, к. м. н.
3. Савин Дмитрий Михайлович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, заведующий травматолого-ортопедическим отделением № 9
4. Очирова Полина Вячеславовна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, аспирант
5. Третьякова Анастасия Николаевна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, отделение анестезиологии и реанимации, врач анестезиолог-реаниматолог

Information about the authors:

1. Marat S. Saifutdinov, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Scientific Clinical-and Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Group of clinical neurophysiology
2. Aleksandr A. Skripnikov, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Scientific Clinical-and Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Group of clinical neurophysiology
3. Dmitrii M. Savin, M.D., Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Head of Department of Traumatology and Orthopaedics No 9
4. Polina V. Ochirova, M.D., Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan
5. Anastasiia N. Tret'iakova, M.D., Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Department of Anesthesiology and Resuscitation