

<https://doi.org/10.17116/neiro20198304156>

Количественная характеристика риска ятрогенных повреждений пирамидных путей по данным интраоперационного нейромониторинга при хирургической коррекции деформаций позвоночника

М.С. САЙФУТДИНОВ*, д.б.н. С.О. РЯБЫХ, д.м.н. Д.М. САВИН, к.м.н. А.Н. ТРЕТЬЯКОВА

ФБГУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

Цель исследования — разработка количественного показателя уровня риска интраоперационного возникновения ятрогенных моторных расстройств в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника на основе данных текущего нейрофизиологического контроля.

Материал и методы. 288 больным (12,6±0,35 года) под контролем интраоперационного нейромониторинга проведена хирургическая коррекция деформаций позвоночника. Характер изменения моторных вызванных потенциалов оценивался по предложенной ранее ранговой шкале. Рассчитывалась частота встречаемости разных вариантов изменений значений рангов состояния пирамидной системы в процессе операции и появления в связи с ними послеоперационных моторных нарушений.

Результаты. Путем сопоставления вероятностей разной степени изменений проводниковых свойств пирамидных путей во время операции с частотой наблюдений послеоперационного моторного дефицита количественно оценивалась возможная связь между этими феноменами. Предложен способ расчета показателя риска возникновения послеоперационных моторных расстройств в зависимости от максимального ранга реакции пирамидной системы на хирургическую агрессию.

Выводы. Разработанная нами система ранговой оценки изменений моторных вызванных потенциалов в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника позволяет количественно выразить степень риска возникновения послеоперационных моторных расстройств и соответственно отслеживать уровень тревоги для нейрохирурга при проведении отдельных этапов оперативного вмешательства.

Ключевые слова: деформация позвоночника, спинальная хирургия, интраоперационный нейромониторинг, пирамидная система, неврологические осложнения.

Quantitative characterization of risk of iatrogenic damage to pyramidal tracts based on data of intraoperative neuromonitoring during surgical correction of spinal deformities

M.S. SAIFUTDINOV*, S.O. RYABYKH, D.M. SAVIN, A.N. TRETYAKOVA

Federal State Budgetary Institution Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan, Russia

Objective — development of a quantitative indicator for the risk level of intraoperative iatrogenic motor disorders in the process of surgical correction of spinal deformity based on current neurophysiological monitoring data.

Material and methods. 288 patients 12.6±0.35 y.o. underwent surgical correction of spinal deformities under the control of intraoperative neuromonitoring. The nature of changes in motor evoked potentials was assessed according to the earlier proposed ranking scale. The incidence of different variants of changes in the rank values of the state of the pyramidal system during the operation and the resulting postoperative motor disturbances was calculated.

Results. By comparing probabilities of various changes in the conduction properties of pyramidal tracts during surgery with the incidence of the observed motor deficiencies we quantitatively assessed the possible correlation between these phenomena. We propose a method for calculating the risk index for postoperative motor disorders depending on the maximum rank of the pyramidal system's response to surgical aggression.

Conclusion. The developed system of ranking evaluation of changes in motor evoked potentials during surgical correction of spinal deformity makes it possible to quantify the risk of postoperative motor disorders and, accordingly, to monitor the level of anxiety for a neurosurgeon during individual stages of surgical intervention.

Keywords: spinal deformity, spinal surgery, intraoperative neuro-monitoring, somatic motor system, neurological complications.

Несмотря на развитие высоких медицинских технологий, проблемы, связанные с хирургической коррекцией деформаций позвоночника, далеки от окончательного решения [1—3]. В частности, одной из таких проблем является риск развития ятрогенных моторных расстройств в послеоперационном перио-

де [4]. С целью их профилактики в настоящее время широко применяется интраоперационный нейромониторинг (ИОНМ) [5—7] с использованием моторных вызванных потенциалов (МВП) [8—10]. При проведении ИОНМ нейрофизиолог концентрирует внимание только на критически значимых измене-

ниях их параметров. Действия хирургов могут сопровождаться незначительной реакцией МВП, которая чаще всего остается без последствий, но иногда может быть предвестником опасности. Это затрудняет точную оценку уровня риска действий хирурга в конкретный момент операции. Некоторые авторы [11] предложили увеличить число модальностей ИОНМ с тем, чтобы уменьшить число ложноположительных и ложноотрицательных реакций в процессе интраоперационного контроля. Но это усложняет процедуру его проведения и увеличивает время предоперационной подготовки пациента.

Нами была предложена шкала для ранжирования изменений МВП [12], наблюдаемых в процессе ИОНМ, и балльной оценки общего характера реакции проводящей системы спинного мозга на хирургическую агрессию. Наблюдение статистических закономерностей ранговой оценки изменений МВП в больших группах больных в широком возрастном диапазоне с разной патологией в процессе хирургической коррекции деформации позвоночника дает возможность сопоставить ее с характером распределения послеоперационных моторных расстройств, и сконструировать на этой основе показатель уровня риска, связанного с действиями хирурга в текущий момент времени.

Цель настоящего исследования — разработка количественного показателя уровня риска интраоперационного возникновения ятрогенных моторных расстройств в процессе хирургической коррекции деформации позвоночника на основе данных текущего нейрофизиологического контроля.

Материал и методы

Работа выполнена в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.). Все пациенты, в нем участвовавшие, дали на это письменное добровольное информированное согласие. Исследование одобрено комитетом по этике при РНЦ ВТО им. акад. Г.А. Илизарова.

Анализировалась выборка из 288 больных (107 мужчин и 181 женщина), в возрасте от 1 года 4 мес до 27 лет с деформациями позвоночника различной этиологии: идиопатический сколиоз был диагностирован у 76 пациентов, деформации позвоночника врожденного генеза и связанные с системными поражениями скелета — у 173 пациентов, нейромышечный и нейрогенный сколиоз — у 15 больных, деформации позвоночника, связанные с другими причинами, отмечены у 24 пациентов. Величина деформации варьировала от 20 до 105° по сколиотическому компоненту и от 15 до 134° — по кифотическому.

Всем пациентам была произведена инструментальная коррекция деформации с последующей транспедикулярной фиксацией сегментов грудного/

груднопоясничного отдела позвоночника с использованием различных вариантов погружных систем [13]. У всех пациентов применялись методики мобилизации задней колонны позвоночника I—III уровня по классификации F. Schwab, у 189 (59%) больных выполнены трехколонные остеотомии позвоночника III—IV типа [14, 15]. Тотальная внутривенная анестезия обеспечивалась сочетанием наркотического анальгетика фентанила (10—3 мкг/кг/ч) и гипнотика пропофола (10—4 мг/кг/ч), их введение осуществлялось через инфузомат. Искусственная вентиляция легких проводилась через интубационную трубку.

Интраоперационный нейрофизиологический контроль текущего состояния пирамидных путей пациента проводили с использованием системы ISIS IOM («Inomed Medizintechnik GmbH», Германия) по схеме, описанной нами ранее [12]. Мышцы-индикаторы для получения МВП выбирались в зависимости от уровня хирургического вмешательства на позвоночнике и результатов предоперационного электромиографического обследования [16]. Проанализировано 320 протоколов ИОНМ.

Регистрация «базовых» МВП начиналась через 40—60 мин после однократного введения миорелаксанта рокурония (перед интубацией трахеи). Последующие тестирования проводились после имплантации опорных элементов конструкции и на различных этапах корригирующих маневров по команде нейрохирурга. Продолжительность мониторинга колебалась от 45 мин до 9 ч 52 мин (3,5±0,09 ч).

При сравнении результатов текущего тестирования с базовыми МВП в качестве диагностически значимых изменений характеристик ответов рассматривалось снижение амплитуды более чем на 50% от исходного уровня и увеличение латентного периода, превышающее 10% [17]. Наблюдаемым реакциям МВП присваивался ранг в соответствии с разработанной нами шкалой [12]. Совокупность изменений ранговой оценки МВП на протяжении оперативного вмешательства являлась основанием для присвоения выявленному типу реакции моторной системы соответствующего балла. Рассчитывали частоту встречаемости (v_t) для выделенных типов реакции как отношение числа наблюдений t типа (n_t) к общему количеству наблюдений (N) и стандартную ошибку (S_v):

$$v_t = \frac{n_t \cdot 100\%}{N} \quad (1)$$

$$S_v = \sqrt{\frac{v(1-v)}{N}} \quad (2)$$

Математическая обработка полученных данных проводилась с помощью программного комплекса Microsoft Excel 2010 и интегрированного с ним пакета анализа данных Attestat [18].

Таблица 1. Ранговая оценка реакции параметров моторных вызванных потенциалов (МВП) на текущее оперативное воздействие

№	Ранг (R _j)	Электрофизиологический феномен
J=1	0	Сохранение на момент тестирования формы и амплитудно-временных параметров МВП близкими к исходным
J=2	1	Повышение амплитуды МВП относительно исходного уровня, зачастую сопровождаемое появлением дополнительных фаз
J=3	2	Умеренное снижение амплитуды МВП, не сопровождаемое существенным изменением его формы
J=4	3	Нестабильность амплитудно-временных характеристик и формы (колебания количества и выраженности фаз) ответа
J=5	4a	Значительное снижение амплитуды МВП (более чем на 50% от исходного уровня), сопровождаемое колебаниями его латентности и обеднением (редукцией) формы с последующим восстановлением характеристик МВП, близких к исходным
J=6	4б	Значительное снижение амплитуды МВП (более чем на 50% от исходного уровня), сопровождаемое колебаниями его латентности и обеднением формы с последующим сохранением угнетенных ответов и/или дальнейшим угнетением МВП, вплоть до полного исчезновения
J=7	5	Полное исчезновение ответа (длительностью не более 15 мин) с последующим восстановлением до уровня, близкого к исходному
J=8	6	Полное исчезновение ответа с последующим частичным восстановлением
J=9	7	Полное исчезновение МВП без признаков его восстановления к моменту завершения хирургического вмешательства

Примечание. j — порядковый номер, соответствующий позициям ранга на шкале.

Результаты

Ранговая шкала, отражающая степень изменений МВП при текущем тестировании относительно базового уровня, представлена в табл. 1. Ранги начиная с 4б и более рассматривались нами как «критические» (рис. 1), поскольку указывали на наличие существенного снижения проводниковой функции пирамидной системы в соответствии с критериями опасности, описанными в литературе [17].

В используемой для мониторинга группе мышц-индикаторов реактивные изменения могут быть одинаковыми либо различаться по степени снижения МВП и трансформации их формы, указывая на локализацию опасного ятрогенного воздействия (см. рис. 1). Общему состоянию пирамидной системы в целом присваивалось значение ранга, максимальное в данной группе мышц-индикаторов. При последующем тестировании ранговая оценка либо сохранялась, либо менялась в соответствии с наблюдаемыми при этом реактивными изменениями МВП. В итоге в процессе мониторинга формировался ряд из последовательных значений рангов состояния пирамидной системы.

Обобщая динамику ранговой оценки МВП на протяжении всей операции, мы выделили 5 типов устойчивых (воспроизводимых на различных больных) комбинаций рангов (табл. 2), которые, по нашему мнению, соответствуют основным типам реакции моторной системы пациента на оперативную коррекцию деформаций позвоночника. Тип реакции определяется максимальным значением ранга при последовательном тестировании в процессе операции: I тип — спокойное течение операции без каких-либо тревожных событий; II и III типы реакции — умеренное снижение и нестабильность МВП;

IV тип — существенное угнетение МВП в конце операции (снижение амплитуды более чем на 50% от исходного уровня и увеличение латентного периода, превышающее 10%); V тип реакции — полное угнетение МВП к концу операции (количество таких наблюдений за период использования ИОНМ не превышало 10%).

Клинический пример

Пациенту К., 6 лет 6 мес, с врожденным прогрессирующим сколиозом на фоне множественных пороков развития шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника была выполнена вертебротомия III уровня по Schwab на вершине деформации в поясничном отделе позвоночника, коррекция деформации позвоночника и задняя инструментальная фиксация динамической системой с транспедикулярными опорными точками.

Перед началом операции в отведениях от мышц нижних конечностей зарегистрированы хорошо воспроизводимые полифазные МВП (см. рис. 1, зеленые линии). При проведении вертебротомии для контроля состояния спинальных корешков использовался зонд, позволяющий проводить прямую электростимуляцию нервных структур, а также контролировалось появление спонтанной электромиографической активности мышц-индикаторов.

В процессе выполнения вертебротомии в части отведений развилась нестабильность формы и характеристик моторных ответов, которая выражалась (см. рис. 1) в их умеренном повышении (отведение от *m. tibialis anterior* слева), умеренном снижении (*m. vastus medianus* слева и справа, *m. tibialis anterior* справа), существенном снижении (*m. sphincter ani* слева) вплоть до полного кратковременного угнетения (*m. sphincter ani* справа). Отсутствие негативных из-

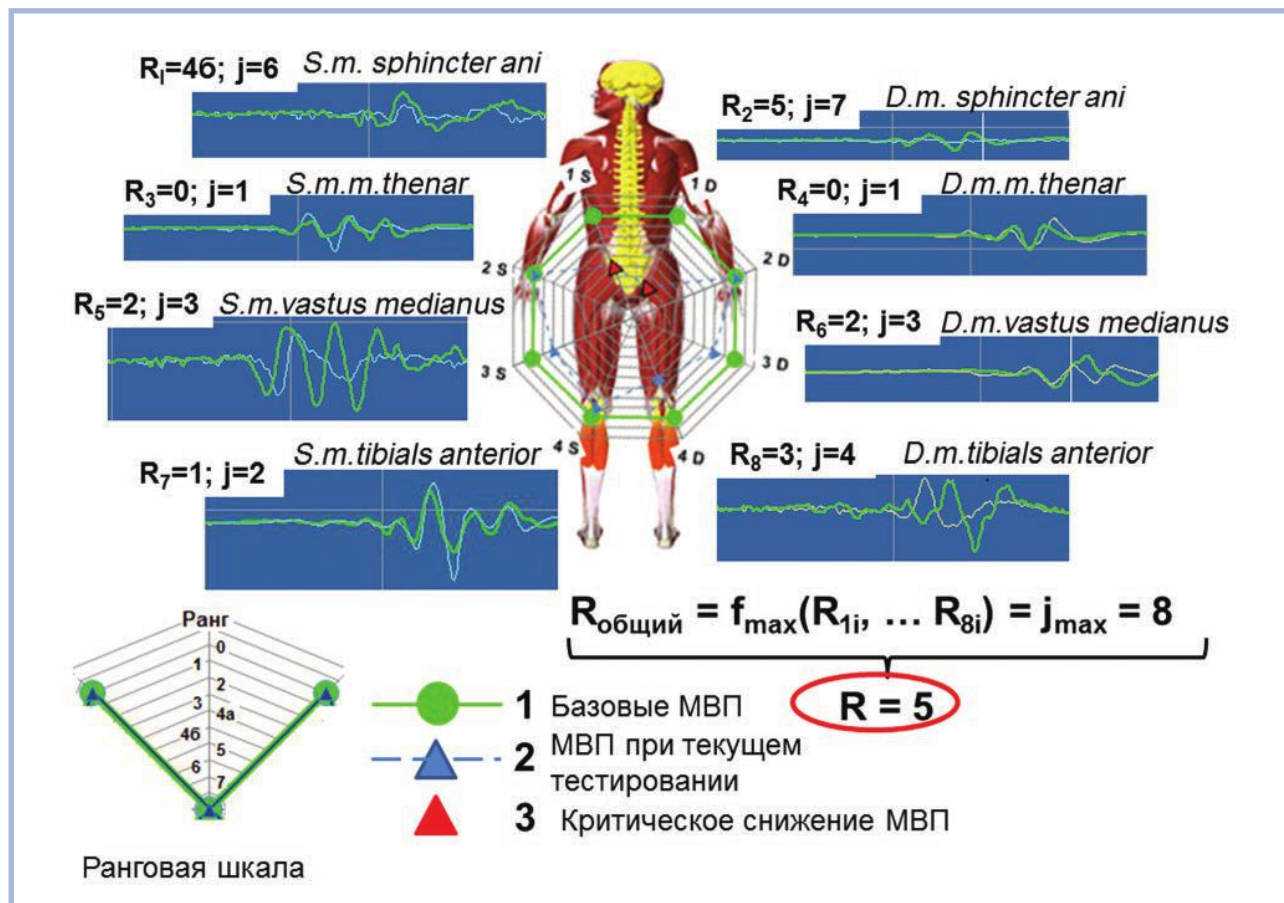


Рис. 1. Пример получения обобщенного ранга изменений МВП при текущем тестировании (ряд данных 2, синие треугольники) в сравнении с базовым уровнем (ряд данных 1, зеленые кружки).

Красные треугольники (3) — критическое снижение амплитуды МВП. Вмешательство на пояснично-крестцовом сегменте. Используются отведения слева (S) и справа (D):

Код	Мышца	Контроль корешка
1 S; 1 D	<i>m. sphincter ani external</i>	L ₁
2 S; 2 D	<i>m.m. thenar</i>	Контрольное отведение
3 S; 3 D	<i>m. rectus femoris</i>	L ₂₋₄
4 S; 4 D	<i>m. tibialis anterior</i>	L ₅ -S ₁

В левом нижнем углу — ранговая шкала, в правом нижнем углу — функция, выбирающая обобщенное значение ранга как максимальное значение в имеющихся отведениях.

менений МВП в контрольных отведениях (*m.m. thenar* слева и справа), локализованных значительно выше зоны хирургического интереса, показывало, что наблюдаемая реакция пирамидной системы пациента не связана с действием компонентов наркоза и изменениями общих гемодинамических характеристик пациента. Учитывая наличие предшествующих оперативных вмешательств, в целях снижения хирургического стресса ему был введен метилпреднизолон, а перед проведением корригирующего маневра производилось эпидуральное введение раствора ропивакаина (0,375%).

К моменту окончания хирургического вмешательства в большинстве отведений МВП восстановились до уровня, близкого исходному. В двух отведениях сохранялось существенное снижение амплитуды

ды моторных ответов. Однако после пробуждения пациента моторных расстройств у него не было, поэтому негативное состояние МВП, вероятнее всего, было обусловлено действием ропивакаина.

В процессе интраоперационного получения МВП текущее значение общего ранга будет отражать уровень риска (RL) возникновения послеоперационных моторных расстройств, который складывается из двух составляющих: частоты встречаемости (f_M) этих расстройств при данном типе реакции и вероятности (p_k) повышения при последующем тестировании ранга наблюдаемых изменений до критических значений; т.е. вероятность критического перехода (рис. 2).

$$RL = X_1 f_M + X_2 p_k, \quad (3)$$

где X_1 и X_2 — весовые коэффициенты, отражающие значимость вклада в общий уровень риска обеих со-

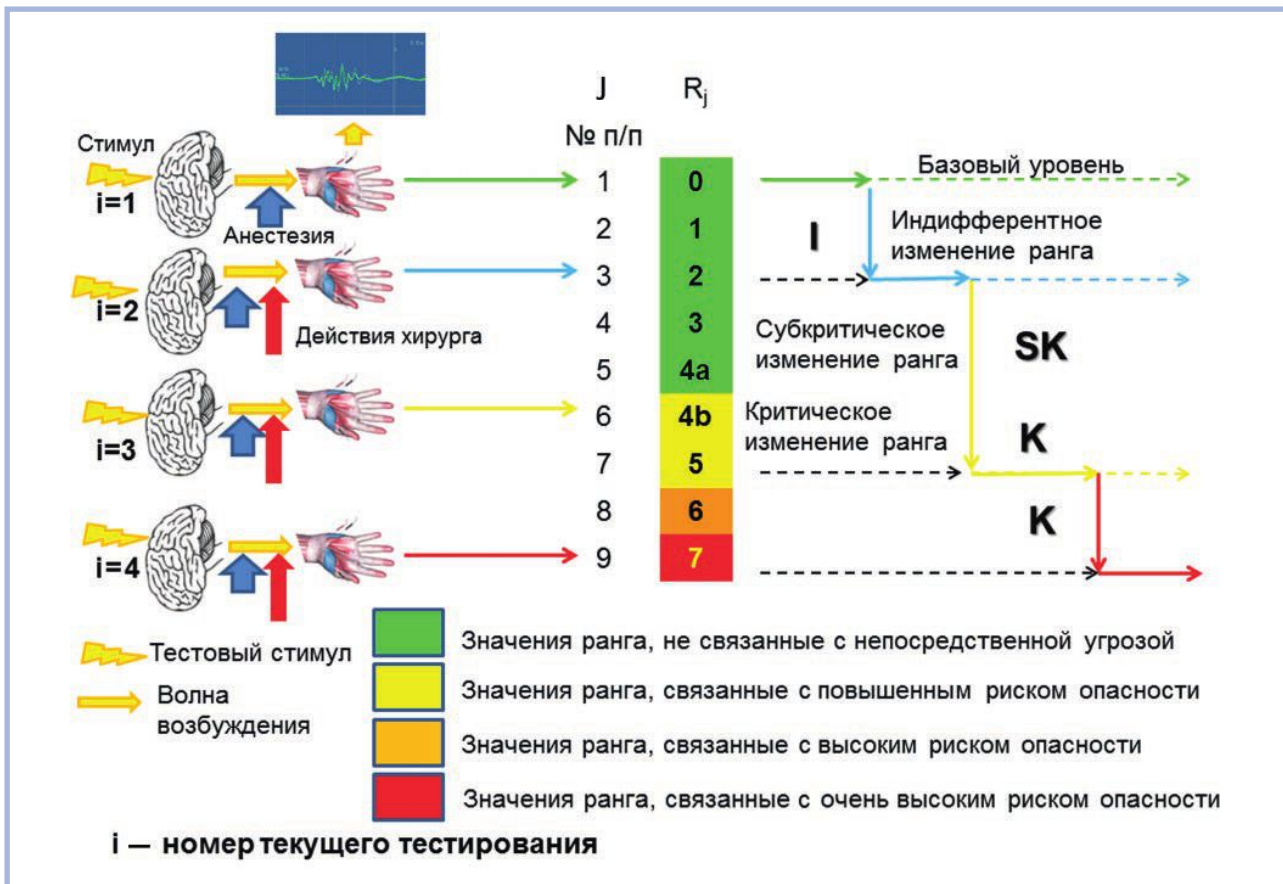


Рис. 2. Характер изменения ранговой оценки состояния пирамидной системы в процессе операции. В центре — ранговая шкала (J — порядковый номер ранга, R_j — последовательность значений рангов, см. табл. 1).

Зеленым цветом отмечена безопасная часть шкалы, желтым и оранжевым — нарастание опасности, красным — максимальная опасность. Слева от шкалы схема проведения тестирования. Справа от шкалы — характеристика возможных изменений значений ранга: изменения в верхней части зеленой зоны шкалы — индифферентные (I); приближение к нижней границе зеленой зоны — субкритические изменения (SK); переход из зеленой зоны в желтую и ниже, а также переход из желтой в красную — критические переходы (K).

Таблица 2. Типы реакции моторной системы больных на оперативную коррекцию деформации позвоночника

Тип	Комбинация рангов	Частота встречаемости							RL
		типов реакции		моторных расстройств			критического перехода		
		n _t	v _t ± s _t , %	n _t	f _M	X ₁	P _k	X ₂	
I	0, 1, 2	169	53,1±2,78	0	0	1	0,011	0,003	0,00
II	0—3, 4a	29	8,8±1,59	0	0	1	0,021	0,004	0,00
III	0—3, 4a, 5	50	15,7±2,02	0	0	1	0,200	0,010	0,02
IV	0—3, 4б, 5, 6	46	14,5±1,99	0	0	1	0,350	0,450	0,15
V	0—3, 4б, 5—7	20	6,3±1,37	4	0,2	1	0	0	0,20

Примечание. f_M — доля моторных осложнений для t-го типа реакции; X₁ и X₂ — весовые коэффициенты из уравнения (3); p_k — вероятности критического увеличения значения ранга при последующем тестировании; RL — показатель риска. Доля в процентах рассчитана без учета 6 наблюдений с исходно отсутствующими моторными потенциалами.

ставляющих. Для удобства расчетов X₁ принимается равным единице; X₂ зависит от типа реакции и определяется эмпирически.

Чтобы различать значения частоты встречаемости типов реакции пирамидной системы и показатель риска, первые представлены в табл. 2 в процентах, а компоненты второго из формулы (3) в долях от единицы.

Для I—III типов реакции первый компонент формулы (3), т.е. частота встречаемости моторных и сенсорных ятрогенных расстройств, в анализируемой нами выборке равен нулю. При IV типе отмечались только сенсорные расстройства (3 наблюдения: нарушения кожной чувствительности и нейропатическая боль), поэтому для моторных расстройств в этой группе больных также f_M = 0.

Все 20 случаев появления V типа ($N_V = 20$) были связаны с полным исчезновением МВП в конце оперативного вмешательства, при завершении коррекции или сразу после окончания коррекционного маневра. В 4 наблюдениях исчезновение ответов было молатеральным, в остальных — билатеральным. При этом в 4 наблюдениях амплитуда ответов снизилась до нуля на фоне эпидурального введения раствора ропивакаина. При этом, как и в других 12 случаях регистрации V типа, после завершения операции у пациентов не наблюдалось моторных или сенсорных расстройств (16 наблюдений из 20). У 4 пациентов ($n_V=4$) после пробуждения отмечались локальные моторные расстройства, носившие транзиторный характер. Их удалось устранить в послеоперационном периоде. Поэтому в случае V типа реакции в анализируемой выборке компонент $f_M = n_V / N_V = 0,2$.

Второй компонент количественного показателя степени риска, т.е. вероятность повышения ранга до критического уровня при последующем тестировании, определяется как предел частоты встречаемости критических переходов при увеличении объема анализируемой выборки (N), когда N стремится к бесконечности; т.е. в достаточно большой выборке частоту встречаемости можно считать приблизительно равной вероятности.

Показатель уровня риска появления клинических признаков нарушений проводниковой функции пирамидной системы в послеоперационном периоде для типов реакции I—III стремится к нулю, поскольку первый компонент формулы (3), как отмечалось выше, равен нулю, а второй — пренебрежительно мал из-за близких к нулю значений весового коэффициента X_2 и вероятности P_k — небольшого количества случаев резкого снижения ответов или их полного исчезновения прямо от базового уровня (см. табл. 2). Такое течение оперативного вмешательства мы рассматриваем как благоприятное. При VI типе реакции показатель уровня риска также определяется только вторым компонентом формулы (3) и составляет 0,15 (см. табл. 2). Такой риск мы оцениваем как средний. При V типе реакции показатель риска равен частоте встречаемости послеоперационных моторных расстройств, поскольку 7 ранг — максимальная величина для шкалы и больше повышаться не может, т.е. второй компонент формулы (3) равен нулю. При этом риск составляет 0,2, т.е., с нашей точки зрения, становится высоким.

Обсуждение

Первоначально разработанная нами ранговая шкала степени изменений МВП в процессе операции позволила сравнить характер проведения интраоперационного нейрофизиологического контроля в группах больных с разными клиническими особенностями [12].

При непосредственном ее использовании в процессе проведения нейромониторинга следует помнить, что ранги 1 и 2 не должны вызывать беспокойства, ранги 3 и 4а требуют внимания анестезиолога (уточняется изменение глубины наркоза и гемодинамических характеристик пациента). Ранги 4б и ниже требуют совместного принятия решения нейрохирургом и анестезиологом относительно мер, принимаемых для устранения проблемы (введение фармапрепаратов, изменение глубины наркоза, перепроведение винтов, сброс коррекционных усилий и т.п., вплоть до проведения wake-up теста). В будущем, после накопления большого объема статистических данных возможно появление компьютерного приложения к действующим программам ИОНМ, рассчитывающего в режиме on line уровень текущего риска в зависимости от наблюдаемого ранга изменений МВП при текущем тестировании с учетом возраста пациента, его принадлежности к этологической группе и т.п.

В настоящее время остается открытым вопрос: когда незначимые изменения моторных ответов предшествуют значимым, а когда остаются без последствий? Иногда снижение возбудимости моторных зон коры мозга под влиянием анестезии может вызывать существенное снижение амплитуды МВП [19—22]. Само по себе такое снижение не опасно, но может замаскировать негативные последствия действий хирурга. Поэтому значимые и незначимые изменения характеристик МВП должны рассматриваться как факторы, косвенно повышающие риск.

Накопление большого объема данных позволило дать статистическую характеристику наблюдаемым изменениям и оценить вероятностную связь между ними и частотой возникновения послеоперационного моторного дефицита. Трудность сохраняется при определении весовых коэффициентов X_1 и X_2 , связывающих разнородные параметры, используемые в формуле (3). Если частота встречаемости моторных расстройств, наблюдаемых в послеоперационном периоде после регистрации j-ранга во время вмешательства, напрямую указывает на риск их возникновения, то вероятность повышения значения R_i при последующем тестировании до критического уровня (критический переход) — всего лишь косвенный показатель, не дающий количественной меры возможности появления послеоперационного моторного дефицита. Критический переход (повышение значения ранга изменений МВП до критического уровня и далее) — интраоперационное событие, имеющее двойной смысл. Оно может указывать на прямую опасность для нервной ткани, связанную с действиями хирурга или ишемией. Но может быть следствием действия наркоза. Однако и в этом случае оно потенциально маскирует возможные последствия хирургической агрессии.

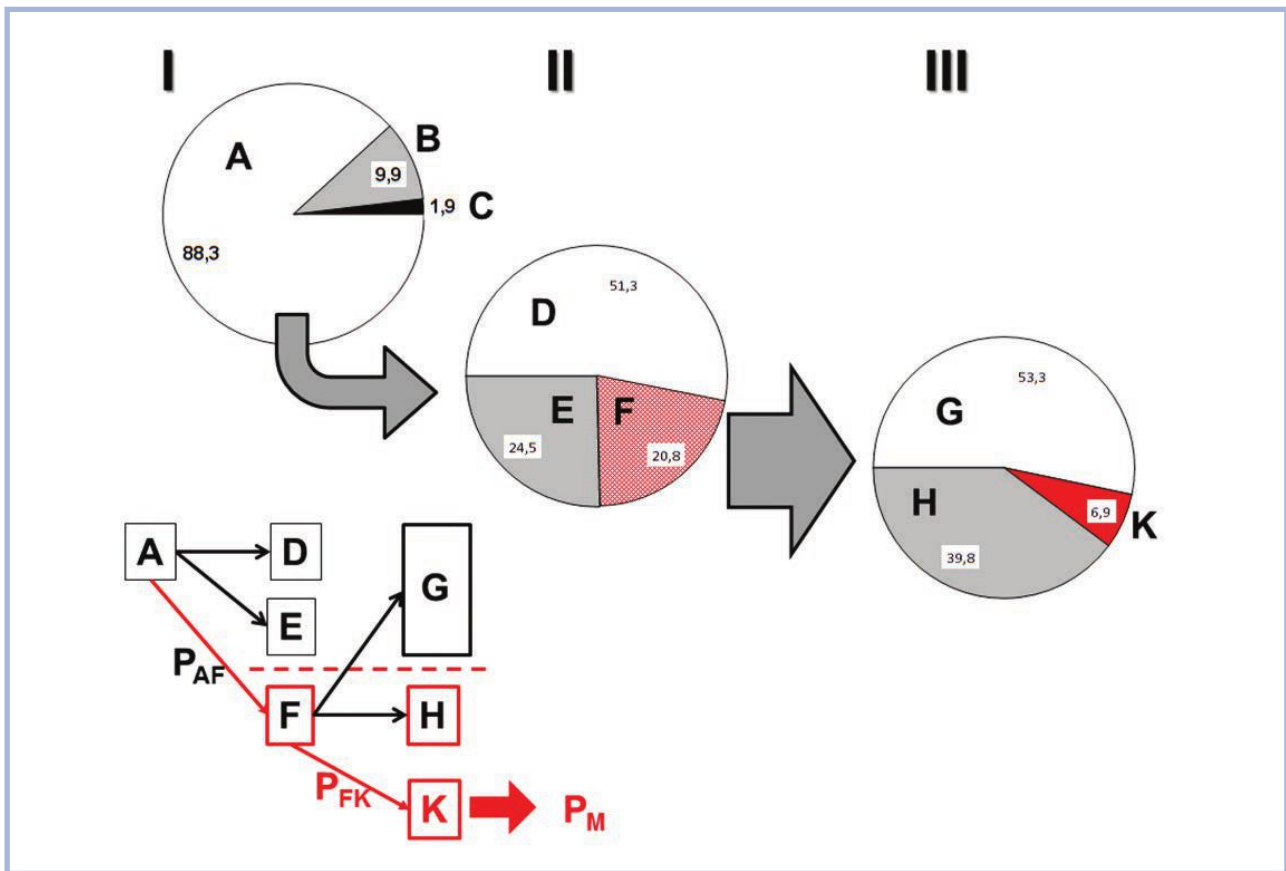


Рис. 3. Пример повышения ранга глубины изменений проводниковых свойств пирамидных путей спинного мозга, выявляемого в процессе интраоперационного тестирования.

I — состояние базовых МВП: А — высокоамплитудные полифазные ответы с устойчивой конфигурацией (частота встречаемости, %); В — низкоамплитудные нестабильные 2–3-фазные потенциалы; С — отсутствие МВП. II — *i*-ое тестирование: D — сохранение базового уровня ответов; E — субкритическое снижение МВП; F — критическое снижение МВП (критический переход). III последующее (*i*+1) тестирование: G — понижение ранга R_{i+1} за пределы критической области; H — сохранение $R_{i+1}=R_i$ в пределах критической области; K — дальнейшее повышение ранга опасности $R_{i+1} > R_i$; P_{AF} — вероятность перехода из состояния А в состояние F; P_{FK} — вероятность перехода из состояния F в состояние K; P_M — вероятность выявления послеоперационных моторных расстройств.

Эту связь можно проследить, сопоставляя вероятности перехода пирамидной системы из одного состояния в другое под воздействием факторов оперативного вмешательства (рис. 3). Шанс появления моторных расстройств после регистрации ранга R_j при текущем тестировании будет равен произведению вероятностей этих событий [23]. На рис. 3 это $P_{AF} \cdot P_{FK} \cdot P_M$. Но $P_{AF} = p_k$ из формулы (3), а произведение $P_{FK} \cdot P_M$ и будет весовым коэффициентом X_2 , связывающим текущее падение проводниковой функции с возможностью возникновения послеоперационных моторных расстройств. Данная величина должна зависеть от возраста пациентов, этиологии заболевания и тяжести патологии, поэтому требует дальнейших уточнений.

Заключение

Таким образом, разработанная нами система ранговой оценки изменений моторных вызванных потенциалов в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника позволяет количественно выразить степень риска возникновения послеоперационных моторных расстройств и соответственно отслеживать уровень тревоги для нейрохирурга при проведении отдельных этапов оперативного вмешательства.

Исследование выполнено при поддержке РНЦ ВТО им. акад. Г.А. Илизарова.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Lee JC, Choi SW. Adjacent Segment Pathology after Lumbar Spinal Fusion. *Asian Spine Journal*. 2015;9(5):807-817. <https://doi.org/10.4184/asj.2015.9.5.807>
- Samartzis D, Leung Y, Shigematsu H, Natarajan D, Stokes O, Mak K, Yao G, Luk K, Cheung K. Selection of fusion levels using the fulcrum bending radiograph for the management of adolescent idiopathic scoliosis patients with

- alternate level pedicle screw strategy: clinical decision-making and outcomes. Park P, ed. *PLoS ONE*. 2015;10(8):e0120302. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120302>
3. Zhou Z, Zhang H, Guo C, Yu H, Wang L, Guo Q. More preoperative flexibility implies adequate neural pliability for curve correction without prophylactic untethering in scoliosis patients with asymptomatic tethered spinal cord, a retrospective study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017;18:261. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1615-0>
 4. Reames DL, Smith JS, Fu KM, Polly DW Jr, Ames CP, Berven SH, Perera JH, Glassman SD, McCarthy RE, Knapp RD, Jr, Heary R, Shaffrey CI. Complications in the surgical treatment of 19,360 cases of pediatric scoliosis: a review of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database. *Spine*. 2011;36(18):1484-1491. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181f3a326>
 5. Хит М.А., Колесов С.В., Колбовский Д.А., Морозова Н.С. Роль интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в предотвращении развития послеоперационных неврологических осложнений в хирургии сколиотической деформации позвоночника. *Невро-мышечные болезни*. 2014;(2):36-41. Khit MA, Kolesov SV, Kolbovsky DA, Morozova NS. The role of intraoperative neurophysiological monitoring in prevention of postoperative neurological complications in scoliotic spinal deformation surgery. *Nervno-myshechnye Bolezni*. 2014;(2):36-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2014-0-2-36-41>
 6. Aleem AW, Thuet ED, Padberg AM, Wallendorf M, Luhmann SJ. Spinal Cord Monitoring Data in Pediatric Spinal Deformity Patients With Spinal Cord Pathology. *Spine Deformity*. 2015;3:88-94. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2014.06.011>
 7. Кузьмина В.А., Сяндюков А.Р., Николаев Н.С., Михайлова И.В., Николаева А.В. Опыт применения интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при оперативных вмешательствах на позвоночнике. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2016;4(4):33-40. Kuzmina VA, Syundyukov AR, Nikolaev NS, Mikhailova IV, Nikolaeva AV. Effectiveness of intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta*. 2016; 4(4):33-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/PRTORS4433-40>
 8. Acharya S, Palukuri N, Gupta P, and Kohli M. Transcranial Motor Evoked Potentials during Spinal Deformity Corrections—Safety, Efficacy, Limitations, and the Role of a Checklist. *Front. Surg*. 2017;13(4):8. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2017.00008>
 9. Kobayashi K, Imagawa S, Ito Z, Ando K, Hida T, Ito K, Tsushima M, Ishikawa Y, Matsumoto A, Nishida Y, Ishiguro N. Transcranial motor evoked potential wave form changes in corrective fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *J Neurosurg Pediatr*. 2017;19(1):108-115. <https://doi.org/10.3171/2016.6.PEDS16141>
 10. Kothbauer KF. The Interpretation of Muscle Motor Evoked Potentials for Spinal Cord Monitoring. *J Clin Neurophysiol*. 2017 Jan;34(1):32-37. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000314>
 11. Новиков В.В., Новикова М.В., Цветовский С.Б., Лебедева М.Н., Михайловский М.В., Васюра А.С., Долотин Д.Н., Удалова И.Г. Профилактика неврологических осложнений при хирургической коррекции грубых деформаций позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2011;(3):66-76. Novikov VV, Novikova MV, Tsvetovskiy SB, Lebedeva MN, Mikhailovskiy MV, Vasyura AS, Dolotin DN, Udalova IG. Prevention of Neurological Complications in Correction Surgery for Severe Spinal Deformities. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2011;(3):66-76. (In Russ.).
 12. Сайфутдинов М.С., Скрипников А.А., Рябых С.О., Очирова П.В. Бальная оценка результатов интраоперационного нейрофизиологического мониторинга хирургической коррекции деформаций позво-
 - ночника при генетически обусловленной системной патологии скелета. *Журнал клинической и экспериментальной ортопедии им. Г.А. Илизарова (Гений ортопедии)*. 2017;23(2):201-205. Sayfutdinov MS, Skripnikov AA, Ryabikh SO, Ochirova PV. Scoreevaluation of intraoperative neurophysiological monitoring results of spinal deformity surgical correction in genetically caused systemic skeletal pathology. *Geniy Ortopedii*. 2017;23(2):201-205. (In Russ.). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2017-23-2-201-205>
 13. Рябых С.О. Выбор хирургической тактики при врожденных деформациях позвоночника на фоне множественных пороков позвонков. *Хирургия позвоночника*. 2014;(2):21-28. Ryabikh SO. The choice of surgical approach for congenital spinal deformity caused by multiple vertebral malformations. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2014;2:21-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2014.2.21-28>
 14. Рябых С.О., Савин Д.М. Возможности оперативного лечения кифоза III типа методом «Pedicle subtraction osteotomy». *Гений ортопедии*. 2013;(1):120-123. Ryabikh SO., Savin DM. Possibilities of Type III kyphoses surgical treatment using «Pedicle subtraction osteotomy» technique. *Geniy Ortopedii*. 2013;(1):120-123. (In Russ.).
 15. Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J et al. The Comprehensive Anatomical Spinal Osteotomy Classification. *Neurosurgery*. 2014;74(1):112-120. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001820>
 16. Шейн А.П., Криворучко Г.А., Рябых С.О. Реактивность и резистентность спинномозговых структур при выполнении инструментальной коррекции деформаций позвоночника. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2016;102(12):1495-1506. Shein AP, Krivoruchko GA, Ryabikh SO [Reactivity and resistance of the spinal structures when performing instrumental correction of spinal deformities]. *Rossiiskii Fiziologicheskii Zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2016;102(12):1495-1506. (In Russ.).
 17. Jameson LC. Transcranial Motor Evoked Potentials in Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals. Eds. Koht A., Sloan TB, Toleikis JR. New York—Dordrecht—Heidelberg—London: Springer, 2012:27-45. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0308-1>
 18. Гайдышев И.П. Анализ и обработка данных: специальный справочник. СПб.: Питер, 2001;752. Gaydyshv IP. *Analiz i obrabotka dannykh: spetsial'nyi spravochnik. Data analysis and processing: a special reference book*. SPb.: Piter, 2001;752. (In Russ.).
 19. Gibson PRJ. Anaesthesia for Correction of Scoliosis in Children. *Anaesth. Intensive Care*. 2004;32(4):548-559.
 20. Lieberman JA, Lyon R, Feiner J, Diab M, Gregory GA. The effect of age on motor evoked potentials in children under propofol/isoflurane anesthesia. *Anesth Analg*. 2006;103(2):316-321. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000226142.15746.b2>
 21. Koruk S, Mizrak A, Kaya UB, Ilhan O, Baspinar O, Oner U. Propofol/dexmedetomidine and propofol/ketamine combinations for anesthesia in pediatric patients undergoing transcatheter atrial septal defect closure: a prospective randomized study; *Clin Ther*. 2010;32(4):701-709.
 22. Furmaga H, Park HJ, Cooperrider J, Baker KB, Johnson M, Gale JT, Machado AG. Effects of ketamine and propofol on motor evoked potentials elicited by intracranial microstimulation during deep brain stimulation. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 2014;8:Article 89. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00089>
 23. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 1985;640. Korolyuk VS, Portenko NI, Skorokhod AV, Turbin AF. *Handbook on probability theory and mathematical statistics*. M.: Nauka, 1985;640. (In Russ.).

Поступила 29.11.18

Received 29.11.18

Комментарий

В статье освещается возможность применения системы ранговой оценки изменений моторных вызванных потенциалов (МВП) в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника с целью количественной оценки степени риска возникновения послеоперационных нарушений моторной функции.

Авторами разработан объективный показатель для оценки моторных нарушений в процессе нейрофизиологического интраоперационного исследования.

Научная новизна работы заключается в разработке математического и статистического алгоритма оценки изменений параметров МВП при интраоперационном нейрофизиологическом контроле возможных нарушений моторной функции в результате оперативного лечения. Практическая ценность работы заключается в подтверждении значимости и необходимости проведения интраоперационного нейромониторинга для исключения или минимизации каких-либо осложнений во время операции и в послеоперационном периоде.

Е.М. Трошина (Москва)