

formatsionnoe agenstvo; 1998. Russian.

15. Kurtser MA. Perinatal'naya smertnost' i puti ee snizheniya [dissertation]. Moscow (Moscow region); 2001. Russian.

16. Logutova LS. Sovremennye tendentsii v rodorazreshenii: vzglyad na problemu. Materialy IV Vserossiyskoy nauchno – prakticheskoy konferentsii «Kriticheskie sostoyaniya v akusherstve i neonatologii». Sankt-Peterburg; 2006. Russian.

17. Mal'gina GB. Rol' psikhoemotsional'nogo stressa v period gestatsii v formirovaniy akusherskoy i perinatal'noy patologii. Zhurnal akusherstva i zhenskikh bolezney. 2002;39(4):16-21. Russian.

18. Meerson FZ, Pshennikova MG. Adaptatsionnaya zashchita organizma: osnovnye mekhanizmy i ispol'zovanie dlya profilaktiki i terapii. Moscow: VNIIT.RAN–T.45; 1993. Russian.

19. Milovanov AP. Struktura i prichiny materinskoy smertnosti. Materialy Rossiyskogo plenuma akusherov-ginekologov i neonatologov. Cheboksary; 2001. Russian.

20. Nesenchuk VV, Serebryakova PO, Arzhanova ON. Opyt primeneniya kognitivnoy psikhokorreksii emotsional'nogo sostoyaniya zhenshchin s oslozhnennym techeniem beremennosti v Sh trimestre. Akusherstva i zhenskikh bolezney. 2001;10(4):74-6. Russian.

21. Netseevskaya MA. Kliniko-immunologicheskie kriterii prognozirovaniya gestoza [dissertation]. Moscow (Moscow region); 2000. Russian.

22. Rafmell DP. Regionarnaya anesteziya: Samoe neobkhodimoe v anesteziologii. Moscow: «MEDpress-inform»; 2008. Russian.

23. Savel'eva GM, Shalina RI. Gestoz v sovremenom akusherstve. Russkiy meditsinskiy zhurnal. 2000;6:50-3. Russian.

24. Fedosov II. Oslozhneniya spinal'noy anestezii. VIII Vserossiyskiy s"ezd anesteziologov i reanimatologov. Omsk; 2002. Russian.

25. Firulev LV. Stress-reaktsiya u beremennykh grupy vysokogo riska pri operatsii kesareva secheniya

v usloviyakh obshchey i epidural'noy anestezii [dissertation]. Izhevsk; 2002. Russian.

26. Frolova OG, Guseva EV, Ratushnyak SS, et al. Prichiny materinskoy smertnosti pri okazanii anesteziologo-reanimatsionnoy pomoshchi. V Vserossiyskiy obrazovatel'nyy Kongress. Anesteziya i reanimatsiya v akusherstve i neonatologii. Moscow; 2012. Russian.

27. Khadartsev AA, Kupeev VG, Zilov VG, Morozov VN, Tutaeva ES. Diagnosticheskie i lechenovosstanovitel'nye tekhnologii pri sochetannoy patologii vnutrennikh organov i sistem: Monografiya / Pod red. A.A.Khadartseva. Tula: Tul'skiy poligrafist; 2003. Russian.

28. Shepetovskaya NL. Optimizatsiya anesteziologicheskogo posobiya pri operatsii kesareva secheniya u beremennykh s gestozom [dissertation]. Moscow (Moscow region); 2010. Russian.

29. Shifman EM. Preeklampsiya, eklampsiya, HELLP-sindrom. Petrozavodsk: «Intel Tek»; 2002. Russian.

30. Shifman EM. Preeklampsiya, eklampsiya, HELLP - sindrom. Petrozavodsk; 2003. Russian.

31. Hofmeyr G Advance prediction of hypotension at cesarean delivery under spinal anesthesia labour. Cochrane Database Syst Rev. 2004;18(4):CD 000175.

32. Hood DD, Curry R. Spinal versus epidural anesthesia for cesarean section in severely preeclamptic patients: A retrospective survey. Anesthesiology. 1999;90:1276-83.

33. Jackson R, Reid J, Thorburn J. Volume preloading is not essential to prevent spinal-induced hypotension at caesarean section. Br. J. Anaesth. 1995;75:262-5.

34. Santos AC. Spinal anesthesia in severely preeclamptic women: When is it safe? Anesthesiology. 1999;90:1252-4.

35. Wilhelm Ruppen MD, et al. Incidence of Epidural Hematoma, Infection and Neurologic Injury in Obstetric Patients with Analgesia-Anesthesia. Anesthesiology. 2006;105:394-9.

УДК: 616.832-006

DOI: 10.12737/9087

### ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ УДАЛЕНИИ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНЫХ ОПУХОЛЕЙ (обзор литературы)

Е.А. БУРКОВА\*, А.О. ГУЩА\*, Н.В. ШАХПАРОНОВА\*, П.А. ФЕДИН\*, Э.М. НЕЙМАТОВ\*\*

\*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный центр неврологии»,  
Волоколамское шоссе, д. 80, Москва, Россия, 125367

\*\*Первый Московский Государственный Медицинский Университет имени И.М. Сеченова,  
ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Россия, 119992

**Аннотация.** В связи с увеличивающимся прогрессом в области нейрохирургии и возможностью тотального удаления большинства интрамедуллярных опухолей, встает вопрос о максимальной сохранности функций спинного мозга. С изобретением и активным внедрением нейрофизиологического интраоперационного мониторинга

становится возможным в режиме реального времени оценивать влияние хирургических манипуляций на проводящие пути спинного мозга. Эффективное и обоснованное проведение мониторинга включает оценку как двигательных, так и чувствительных путей для получения полной информации о функциях спинного мозга. Выявление предикторов благоприятного функционального исхода и разработка алгоритма проведения мониторинга позволяет модифицировать нейрохирургическую тактику и улучшить качество жизни пациента после операции. В статье описаны все методы интраоперационного мониторинга и рассмотрены физиологические факторы, оказывающие влияние на мониторинг ответов. Приведены данные о воздействии различных анестетиков на способность нейронов проводить импульсы, и рассмотрены комбинации наиболее благоприятных комбинаций препаратов. Доказано, что данные интраоперационного мониторинга эффективны в качестве предикторов высокого риска послеоперационных осложнений (4 исследования класса I и 7 исследований класса II). Необходимо учитывать, что такие факторы как опыт нейрофизиолога и его умение интерпретировать данные, а также опыт хирурга в использовании этих данных, действия анестезиолога – весь процесс взаимодействия влияет на конечный исход операции.

**Ключевые слова:** интрамедуллярная опухоль, интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, соматосенсорные вызванные потенциалы, моторные вызванные потенциалы.

### NTRA-OPERATIVE NEUROPHYSIOLOGICAL MONITORING DURING THE REMOVAL OF INTRAMEDULLARY TUMORS (LITERARY REVIEW)

E.A. BURKOVA\*, A.O. GUSHA\*, N.V. SHAKHPARONOVA\*, P.E. FEDIN\*, E.M. NEYMATOV\*\*

\*Scientific Center of Neurology, Volokolamsk Highway, d. 80, Moscow, Russia, 125367

\*\*The First Moscow State I.M. Sechenov Medical University, st. Trubetskaya, 8, p. 2, Moscow, Russia 119992

**Abstract.** Progress in the field of neurosurgery and the possibility of total removal of the majority of intramedullary tumors leads to the question about maximum security functions of the spinal cord. The invention and implementation of intra-operative neuro-physiological monitoring (IOM) provides real-time to assess the impact of surgical procedures on the pathways of the spinal cord. Effective and informed monitoring includes an assessment of motor and sensitive ways to complete information about the functions of the spinal cord. Identifying predictors of favorable functional outcome and algorithm development monitoring allows the authors to modify neurosurgical tactics and improve the patient's quality of life after surgery. This article describes all the methods IOM and physiological factors affecting the monitoring of responses. The authors review data on the effects of different anesthetics on the ability of neurons to conduct impulses and the most favorable combinations of drugs. It is proved that the IOM is effective as predictors of high risk of post-operative complications (4 studies class I and 7 studies of class II). It is important to consider the factors such as experience neurophysiologist and his ability to interpret data, as well as experience of the surgeon in using these data, the actions of the anesthesiologist - the whole process of interaction affects the final outcome of the operation.

**Key words:** intramedullary spinal cord tumors, intra-operative neuro-physiological monitoring, somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials.

Удаление интрамедуллярной опухоли (ИМО) считается сложной и в своем роде эксклюзивной операцией. Обеспечение максимальной безопасности больного во время хирургических вмешательств является одним из самых приоритетных вопросов в современной нейрохирургии. Развитие нейрофизиологического мониторинга в первую очередь обусловлено настоятельной потребностью хирургов в получении экспресс информации о состоянии проводящих путей спинного мозга с целью определения дальнейшей нейрохирургической тактики.

**История возникновения.** В начале 60-х годов прошлого века в связи с активным развитием спинальной нейрохирургии в отношении сколиотических деформаций позвоночника «закатом» эры агрессивного хирургического доступа при коррекции сколиозов возникли предпосылки для создания метода, позволяющего контролировать хирургические манипуляции. Изобретение имплантата Нег-

рингтон в несколько раз повысило эффективность таких операций, но привело к увеличению рисков развития неврологических осложнений [9]. По данным научно-исследовательского общества по сколиозам в 1974 году из 7800 операций у 87 пациентов развились тяжелые неврологические осложнения, включая полное повреждение спинного мозга [22]. Такими были предпосылки для создания интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ИОМ). Первым хирургом, задавшимся целью разработать метод, позволяющий контролировать ход операции, была нейрохирург Jacquelin Perry. В тоже время Goldring из университета Вашингтона изучал эффект анестезии на соматосенсорные кортикальные вызванные потенциалы, которые записывались непосредственно с коры, во время операции [25]. Стимулирующий электрод накладывался эпидурально, а записывающий – субарахноидально. При такой установке электродов записываемые ответы были дос-

таточно большими по амплитуде, но аппаратура занимала много места и требовала присутствия нескольких инженеров во время записи. Tamaki и Kurokawa изобрели в 1972 году технологию, с помощью которой можно было получать соматосенсорные вызванные потенциалы при прямой стимуляции спинного мозга, после чего в 1983 году Royal National Orthopaedic Hospital group в Великобритании официально ввели использование этого метода при операциях по коррекции сколиотических деформаций [25]. Что касается оценки двигательной функции, единственным существовавшим на тот момент способом, был Wakeup test, изобретенный Vauzelle и Stagnara [27]. Суть этого метода заключалась в снижении глубины медикаментозного сна и восстановлении нервно-мышечной передачи на фоне сохранения эффективной анальгезии, для того чтобы пациент мог выполнять элементарные команды.

Одним из основополагающих трудов, связанным с открытием исследования функции двигательных путей спинного мозга, была работа Merton и Morton, появившаяся в 1980 году [17]. В то время стандартная анестезия проводилась закисью азота и галогенами, что существенно подавляло активность нейронов. Эта проблема была решена разработкой Jellineketal. препаратов для внутривенного введения: фентанила и пропофола. (Astra Zeneca Ltd., Macclesfield, Cheshire, UK) [10]. В течение 80-х годов хирурги напрямую стимулировали кору через специальный хирургический доступ и записывали моторные ответы со спинного мозга. В 1993 году Taniguchi показал, что короткая серия из 3-5 электрических импульсов с 2-4 мс. межимпульсовыми интервалами, направленными непосредственно на кору, вызывает мышечный ответ под анестезией [26]. В Японии группа хирургов ортопедов стимулировала моторную кору при помощи специального игольчатого электрода через просверленное отверстие в решетчатой кости [25]. Levyetal. изобрели метод стимуляции моторных путей при накладывании электродов на твердое небо – катода и на череп – анода [14]. Несмотря на то, что этот метод не получил широкого распространения, благодаря ему появились предпосылки об эффектах парной стимуляции.

Развитие и усовершенствование различных методов стимуляции было бы невозможным без соответствующих разработок в области технологий. Изобретение и усовершенствование высоко-вольтажного транскраниального стимулятора компанией DigitimerLtd (Welwyn GardenCity, UK) внесло значительный вклад в широкое распространение мониторинга двигательных путей в повседневной нейрохирургической практике [7].

**Соматосенсорные вызванные потенциалы.** Соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП) используются, начиная с 1970-х годов [2,3]. В то время это был единственный доступный способ монитори-

рования функций спинного мозга. Афферентные ответы с проекции сенсомоторной коры в ответ на электростимуляцию периферических нервов, отражают функцию задних столбов спинного мозга [1]. Кровоснабжение дорсальной части спинного мозга отличается от вентральной, где проходят нисходящие двигательные пути. Таким образом, недостаток кровоснабжения или повреждение вентральной части спинного мозга может вызвать нарушение двигательной функции без значимых изменений ответов ССВП [6]. В интерпретации данных необходимо учитывать следующие факторы [12]. Первое – ишемическое повреждение не всегда имеет четкое разграничение между вентральной и дорсальной частью спинного мозга, и такие сосудистые нарушения отражаются на изменении ответов ССВП. Второе, механическое сдавление спинного мозга снаружи анатомической локализации опухоли при операции влияет как на вентральную, так и дорсальную части спинного мозга и, следовательно, также изменяет амплитуду ответов ССВП. Третье – инсульт в вентральной части спинного мозга может вызвать «спинальный шок» и тем самым временно повлиять на ССВП. Это происходит из-за тесных взаимосвязей нейронов в спинном мозге, которые соединяют разные части спинного мозга [15]. Информация была значимой для хирургов и в то время, когда записывались одни ССВП, в 2 раза уменьшился риск развития параплегии во время операций по коррекции сколиотических деформаций. Основным критерий изменения ответа – 50% снижение амплитуды и 10% увеличение латентности [11,18].

ССВП – обладают хорошей чувствительностью, но плохой специфичностью. Часто возникают ложно-негативные результаты во время мониторингования (например, пациент просыпается с двигательным дефицитом, несмотря на сохраненные ССВП). Кроме того, имеются еще 2 значимых недостатка ССВП в отношении удаления ИМО. Во-первых, ССВП требуют усреднения, что продлевает время получения ответа, а грозящее повреждение может случиться за короткий промежуток времени, особенно во время удаления опухоли из вентральных столбов. Во вторых, ССВП часто пропадают во время миелотомии (чаще такая потеря – временная) и амплитуда ССВП может восстановиться, когда после удаления опухоли задние столбы более не смещаются латерально. Но даже если амплитуда не восстанавливается после завершения манипуляции, это не обязательно коррелирует с потерей глубокой чувствительности. Поэтому потеря ССВП во время миелотомии не должна использоваться как критерий изменения хирургической тактики [15,19]. Разные авторы (Kothbaueretal., 1997; Brotchi, 2002) пришли к выводу, что сохранение ССВП должно поощрять хирурга на более агрессивное удаление, в то время как потеря ответов во время миелотомии не

должна использоваться как критерий для остановки операции [13].

**Моторные вызванные потенциалы и d-волна.**

Принцип мониторинга двигательных путей состоит в электрической стимуляции двигательной коры и регистрации ответов либо с мышц (М-ответ), либо с проводящих путей спинного мозга ниже зоны операции (D-волна) [6]. В настоящее время мониторинг двигательных путей при помощи *моторных вызванных потенциалов* (МВП), возникающих при стимуляции короткой серией импульсов, один из рутинных методов при мониторинге функций спинного мозга, хотя необходимо помнить и о недостатках этого метода. Один из них – высокая нестабильность амплитуды мышечного ответа от исследования к исследованию, что затрудняет определение критериев различия между ухудшением в проведении до полной потери ответов. Более того, чувствительность этих потенциалов к ишемии спинного мозга довольно высока. В результате ложно позитивные случаи будут встречаться чаще, если проводить оценку только по МВП. Следовательно, при оценке результатов теста должны обращать внимание не столько на количественные показатели, сколько на их качественные изменения и поэтому при оценке двигательных путей спинного мозга целесообразно применять МВП совместно спинальной D-волной [18].

D-волна (в переводе *directwave*), отражает прямую аксональную активацию спинного мозга. Скорость проведения 50 м/с. Амплитуда D-волны пропорциональна числу синхронно проводящих кортикоспинальных аксонов до уровня электродной записи. D-волна отражает функциональную целостность быстропроводящих нейронов кортико-спинального тракта. По данным Morota (1997), D-волна является одним из лучших предикторов хорошего функционального исхода, наравне с предоперационным статусом пациента [19].

Механизм возникновения МВП – временная и пространственная суммация *возбуждающего постсинаптического потенциала* (ВПСП) на нижнем мотонейроне. Стимул, превышающий или не достающий порога получения ВПСП на  $\alpha$ -мотонейроне, не вызывает мышечный ответ [7]. Применение моторных вызванных потенциалов имеет несколько неоспоримых преимуществ [14]. Во-первых, МВП не нуждаются в усреднении и могут записываться постоянно при частоте 1-2 Нз. Быстрая обратная связь позволяет своевременно идентифицировать возможное нарушение проведения в двигательных путях и сообщить об этом хирургу. Во вторых, в отличие от ССВП, амплитуда МВП не изменяется во время задней продольной миелотомии. И наконец, в большинстве случаев, за исключением синдрома передней спинальной артерии, МВП снижаются резко, что позволяет хирургу принять соответствующие меры. Предупреждающие сигналы включают: 1) значительное

падение амплитуды МВП по сравнению с baseline, падения амплитуды более характерно, чем изменение латентности; 2) значительная вариабельность в записи ответов (нормальная амплитуда ответов сменяется отсутствием); 3) падение амплитуды D-волны более 50% от первоначальных показателей. Исчезновению МВП обычно предшествует изменениям амплитуды D-волны, но D-волна может оставаться стабильной или амплитуда незначительно уменьшится, несмотря на полное исчезновение МВП. «Точкой невозврата» считается полное отсутствие МВП, при уменьшении амплитуды D-волны более чем на 50%. Если это произошло, хирургические манипуляции должны быть приостановлены и предприняты корректирующие меры для восстановления МВП. Если восстановление МВП не происходит, операция должна завершиться, т.к. очень высокий риск того, что у пациента разовьется тяжелый двигательный дефицит [6,18]. Многочисленные попытки оценки морфологии ответов МВП (изменение полифазного ответа на бифазный) не получили широкого распространения в связи с тем, что уменьшилось число «тотально» удаленных опухолей [4].

Правильное использование этих методов, знание преимуществ и недостатков каждого считается необходимым, так как ни один из этих методов не безупречен и не является абсолютно достоверным. Чтобы проводить эффективный и надежный нейрофизиологический мониторинг, необходимо иметь предоперационный план, который включает в себя: вид хирургического доступа; уровень спинного мозга, подвергающийся риску; дооперационный неврологический статус и ожидаемую сторону повреждения. После оценки этих данных выбирается наиболее оптимальный метод использования вызванных потенциалов. Последовательность стимуляции и сторона записи должна быть выбрана, основываясь на выбранной стратегии [6].

Надежный спинальный мониторинг вдохновляет, поощряет хирургов проводить все более и более сложные операции и все более сложные доступы, используя доступные методы мониторингования.

**Анестезиологическое пособие.** Мониторинг МВП должен проводиться при внутривенной анестезии такими препаратами, как пропофол и фентанил [21]. Другие благоприятные комбинации анестетиков включают кетамин/суфентанил, диазепам/пропофол/фентанил/севофлюран и бензодиазепин/фентанил. Пропофол (в дозировке 100-150 мкг/кг/мин) и фентанил (в дозировке 1 мкг/кг/час) наиболее часто используемые анестетики для записи ИОМ, неоднократно проверенные в ряде клинически исследований [24].

Очевидное преимущество внутривенной анестезии для записи МВП связано с меньшим влиянием на возбудимость  $\alpha$ -мотонейрона по сравнению с ингаляционными анестетиками, включая закись азота [8].

При сравнении пропофола и изофлюрана Chen в исследовании у пациентов без неврологического дефицита выявил, что при одинаковой глубине анестезии, оценка проводилась по *биспектральному индексу* (BIS) – запись МВП была лучше с пропофолом при любых показателях BIS [5]. Около 60% пациентов имели МВП с концентрацией изофлюрана 0,6% и 20% при концентрации 0,8% в конце выдоха, отражая дозозависимую депрессию МВП при хирургическом уровне анестезии. Для сравнения, при введении пропофола, в дозе до 25 мг/кг/час, что соответствует глубокому уровню анестезии, в 100% случаев записывались МВП. При этом не было выявлено дозозависимой депрессии амплитуды ответов. Похожие результаты отражены в работе Pelosietal. МВП меньше по амплитуде и очень колеблются под анестезией севофлюран/запись азота по сравнению с комбинацией пропофол/опиоидные анальгетики [21]. Тем не менее, допускается анестезия десфлюраном менее чем 0,5 минимальной альвеолярной концентрации вместе с комбинацией пропофол/опиоидные анальгетики.

Постоянное использование нейрофизиологического мониторинга во время удаления ИМО оказывает полезную образовательную роль, что постепенно, но значительно модифицирует некоторые нейрохирургические стратегии, применявшиеся до внедрения ИОМ в широкую практику. Постепенно приходит понимание порога допустимого воздействия на структуры спинного мозга. Большинство неблагоприятных исходов во время операции на спинном мозге в основном происходит из-за ишемических нарушений, продолжительной тракции во время манипуляций, ротаций и перегрева от воздействия биполярного коагулятора. ИОМ отражает нейрофизиологические показатели в режиме реального времени, что позволяет точно оценить состояние проводящих путей спинного мозга и определить, возможны ли дальнейшие хирургические манипуляции. С этой точки зрения хирургическая тактика является одним из решающих звеньев, влияющих на исход после операции [6]. По мнению Deletis и Sala, если при исчезновении МВП временно остановить хирургическое вмешательство, часто происходит спонтанное восстановление потенциалов и становится возможным продолжать удалять оставшуюся часть опухоли. Если игнорировать факт ухудшения потенциалов и продолжать операцию, то вполне вероятно, что обратимые изменения могут перейти в необратимые [6,23].

**Тактика хирургов при изменении ответов.** Существует несколько других корректирующих мер, доказавших свою эффективность, в ускорении восстановления МВП во время спинальной хирургии [7]. В англоязычной литературе корректирующие методы, описанные ниже, получили аббревиатуру T.I.P. (Time, Irrigation, Pressure/Папаверина). Есть данные нескольких согласующихся, последовательных наблюдений из разных центров, что во время удаления интрамедул-

лярных опухолей ирригация теплым физиологическим раствором операционного поля улучшает восстановление как ССВП, так и МВП. До конца непонятно, то ли это эффект температуры, то ли эффект орошения, или комбинация этих 2-х методов помогает улучшению ответов [6]. Само по себе орошение теплым физиологическим раствором может быть объяснено тем, что во время травматического или ишемического поражения спинного мозга происходит разрыв клеточных мембран, ионы калия накапливаются в межклеточном пространстве, препятствуя реполяризации аксона, тем самым ограничивая проведение по нервному волокну. Гипотетически орошение хирургического поля усиливает вымывание внеклеточного калия, следовательно способствует быстрому восстановлению вызванных потенциалов.

Другой механизм поражения спинного мозга во время операции связан с ишемией вследствие гипотензии и вазоспазма, вызванных хирургическими манипуляциями. Определить до какого уровня спинной мозг может выдержать пониженное перфузионное давление невозможно. По данным Sloan [24] даже при минимальном падении систолического *артериального давления* (АД) происходит падение амплитуды потенциалов. Т.о. поддерживать цифры АД на уровне несколько выше нормального, так же как и местное использование раствора папаверина может привести к улучшению перфузии спинного мозга и, следовательно, ускорить восстановление вызванных потенциалов.

**Уровень доказательности.** С целью определения эффективности ИОМ в прогнозировании неврологического ухудшения был проведен анализ данных исследований, соответствующих критериям класса I и II в поисковых базах «Medline» и «PubMed» с помощью ключевых слов: мониторинг, ССВП, МВП, парез, интраоперационные осложнения [20]. Статья включалась в исследование в том случае, если: 1) отражались данные проспективного исследования, 2) ИОМ проводился по заранее определенному протоколу с «сигнальными критериями», 3) изменения ИОМ оценивались и были идентифицированы во время операции, до того как был известен исход, 4) был четко определен клинический исход (парапарез, параплегия, тетраплегия). В результате получено 4 исследования класса I и 7 исследований класса II, которые показывают, что пациенты с нарастанием дефицита после операции имели изменения вызванных потенциалов. В исследовании класса I у 16-40% пациентов с падением вызванных потенциалов после операции нарастал двигательный дефицит. Доказано, что данные ИОМ эффективны в качестве предикторов высокого риска послеоперационных осложнений (4 исследования класса I и 7 исследований класса II). Хирурги и другие члены операционной команды должны быть оповещены о высоком

риске нарастания дефицита при значимых изменениях ответов ИОМ (Уровень А) [15].

Преимущества уменьшения рисков постоперационного неврологического дефицита проявляется в 2-х аспектах: польза для пациента (улучшение после лечения) и экономическая выгода для медицинского страхования. Обоснование использования ИОМ должно опираться на количественную оценку уменьшения рисков послеоперационного неврологического дефицита. Поскольку невозможно оценить преимущество нейрофизиологического мониторинга стандартным двойным слепым методом по этическим соображениям, целесообразным представляется метод сравнения с данными за предыдущий период времени. В таких исследованиях неврологический исход группы пациентов, оперированных с использованием нейрофизиологического мониторинга, сравнивается с исходом пациентов оперированных до введения ИОМ. В идеале мы должны сравнивать пациентов, которые были прооперированы одним хирургом, получившие одинаковое хирургическое лечение за исключением применения мониторинга. Подобное исследование было проведено Salaetal [23], когда 2 группы пациентов оценивались по шкале McCormick (МС) [16]. В раннем послеоперационном периоде не было разницы между функциональными исходами. Такой результат был получен вследствие феномена «временного пареза», который невозможно дифференцировать от постоянного пареза на основании только неврологического исследования. Тем не менее, функциональный исход был значительно лучше, когда проходило сравнение при контрольных визитах (период варьировался от 3 до 84 месяцев). Разница была между группами, но только в подгруппах пациентов с легким и средним предоперационным неврологическим дефицитом (МСI-II). В группе с ИОМ с более тяжелым неврологическим дефицитом (МСIII-IV) не было выявлено значимых различий. Основной причиной была сложность в получении МВП, а D-волна отсутствовала или была сильно десинхронизирована в большинстве случаев.

Эффективное и обоснованное проведение мониторинга включает оценку как двигательных, так и чувствительных путей для получения полной информации о функциях спинного мозга. Необходимо учитывать, что такие факторы как опыт нейрофизиолога и его умение интерпретировать данные, а также опыт хирурга в использовании этих данных, действия анестезиолога – весь процесс взаимодействия влияет на конечный исход операции. Чем больше данных у нейрофизиолога, тем более «объемнее» можно получить информацию о проводящих путях. Нейрофизиолог, накапливая опыт интеграции 2-х сторонней оценки, тем самым повышает «чувствительность» мониторинга. Сравнивая группы пациентов с применением ИОМ и без него, представляется целесообразным оценить эффективность проведенных операций

и определить предикторы благоприятного исхода в раннем послеоперационном периоде.

#### Литература

1. Гнездицкий В.В., Корепина О.С. Атлас по вызванным потенциалам мозга. Иваново: Изд.-полигр. Комплекс «ПресСто», 2011.
2. Жеребцова В.А., Индюхин А.А., Индюхин А.Ф., Соколов Э.М., Хадарцев А.А. Способ регистрации длинно-латентного вызванного потенциала мозга при электрокожной стимуляции и устройство для его осуществления // Патент № 2199947, Бюл. № 7 от 10.03.2003
3. Жеребцова В.А., Индюхин А.Ф., Соколов Э.М., Хадарцев А.А., Морозов В.И., Васильев В.П. Способ диагностики длиннолатентного вызванного потенциалом мозга и устройство для его осуществления // Патент № 2240036, Бюл. № 32 от 20.11.2004.
4. «Threshold level» multiple transcranial electrical stimulation of motor cortex for intraoperative monitoring of spinal motor tracts: description of method and comparison to somatosensory evoked potential monitoring / Calancie B., Harris W., Broton JG., [et al.] // J. Neurosurg. 1998. V. 88. P. 457–470.
5. Chen Z. The effects of isoflurane and propofol on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery // J.Clin. Monit. Comput. 2004. №18(4). P. 303–308.
6. Deletis V., Francesco Sala: Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: A review focus on the corticospinal tracts // Clinical Neurophysiology. 2008. V. 119. P. 248–264.
7. Deletis V., Isgum V., Amassian VE. Neurophysiological mechanisms underlying motor evoked potentials in anesthetized humans. Part 1. Recovery time of corticospinal tract direct waves elicited by pairs of transcranial electrical stimuli // Clin. Neurophysiol. 2001. V. 112. P. 438–444.
8. Fennelly M.E., Taylor B.A., Heetreed M. Anaesthesia and the motor evoked potential, In: Jones SJ. Handbook of spinal cord monitoring, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.
9. Harrington P.R. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation // J. Bone Joint Surg. 1962. 44A. P. 591–610.
10. Jellenek D., Jewkes D., Symon L. Noninvasive intraoperative monitoring of motor evoked potentials, Neurosurgery, 1991.
11. Kearse Jr LA., Lopez-Bresnahan M, McPeck K., Tambe V. Loss of somatosensory evoked potentials during intramedullary spinal cord surgery predicts postoperative neurologic deficits in motor functions // J. Clin. Anesth. 1993. №5. P. 392–398.
12. Kelly D.L., Goldring S., O'Leary J. Averaged evoked somatosensory responses from exposed cortex // Arch. Neurol. 1965. №13. P. 1–9.

13. Kothbauer K., Deletis V., Epstein FJ. Motor evoked potential monitoring for intramedullary spinal cord tumor surgery: correlation of clinical and neurophysiological data in a series of 100 consecutive procedures // *Neurosurg Focus*. 1998. №4(5). P. 1–9.

14. Motor evoked potentials from transcranial stimulation of the motor cortex in humans / Levy W.J., York D.H., McCaffrey M. [et al.] // *Neurosurgery*. 1984. №15. P. 287–302.

15. MacDonald D. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update // *J of Clin. Monit and Comp*. 2006. №20. P. 347–377.

16. McCormick P.C., Torres R., Post K.D. Intramedullary ependymoma of the spinal cord // *J. Neurosurg*. 1990. 72. P. 525–532.

17. Merton P.A., Morton H.B. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature*, 1980.

18. Moller A. Intraoperative neurophysiological monitoring. Springer, Third Edition, 2011. P. 283–287.

19. The role of motor evoked potentials during surgery for intramedullary spinal cord tumors / Morota N., Deletis V., Constantini S., [et al.] // *Neurosurgery*. 1997. 41. P. 1327–1336.

20. Evidence-based guideline update: Intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials / Nuwer M.R., Emerson R.G., Galloway G. [et al.] // In: *Neurology guidelines, special addition 2012; (Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the AAN and the AACNS): 585-589.*

21. Pelosi L., Stevenson M., Hobbs GJ. Intraoperative motor evoked potentials to transcranial electrical stimulation during two anaesthetic regimens // *Clin. Neurophysiol*. 2001. 112. P. 1076–1087.

22. Report of Morbidity and Mortality Committee. Scoliosis Research Society Annual Meeting, September 1974.

23. Intraoperative motor evoked potentials monitoring improves outcome after surgery of intramedullary spinal cord tumor: a historical control study in 50 patients / Sala F., Palandri G., Basso E. [et al.] // *Neurosurgery*. 2006. 58. P. 1129–1143.

24. Sloan TB. Intraoperative neurophysiology and anesthesia management. In: Deletis V., Shils J. (eds), *Neurophysiology in neurosurgery* // Academic Press, Elsevier Science. 2002. 1. P. 451–474.

25. Tamaki T., Kubota S. History of the development of intraoperative spinal cord monitoring // *J. Eur. Spine*. 2007. Suppl 2. P.140–146.

26. Effects of four intravenous anesthetic agents on motor evoked potentials elicited by magnetic transcranial stimulation / Taniguchi M., Nadstawek J., Langenbach U. [et al.] // *Neurosurgery*. 1993. 33. P. 407–415.

27. Vauzelle C., Stagnara P., Jouvinroux P. Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery // *Clin. Orthop*. 1973. 93. 173–178.

## References

1. Gnezditskiy VV, Korepina OS. Atlas po vyzvannym potentsialam mozga. Ivanovo: Izd.-poligr. Kompleks «PresSto»; 2011. Russian.

2. Zherebtsova VA, Indyukhin AA, Indyukhin AF, Sokolov EM, Khadartsev AA, inventors; Sposob registratsii dlinno-latentnogo vyzvannogo potentsiala mozga pri elektrokozhnoy stimulyatsii i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Russian Federation patent. RU 2199947. 2003. Russian.

3. Zherebtsova VA, Indyukhin AF, Sokolov EM, Khadartsev AA, Morozov VI, Vasil'ev VP, inventors; Sposob diagnostiki dlinnolatenalnogo vyzvannogo potentsialom mozga i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Russian Federation patent RU 2240036. 2004. Russian.

4. Calancie B, Harris W, Broton JG, et al. «Threshold level» multiple 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;88:457-70.

5. Chen Z. The effects of isoflurane and propofol on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery. *J.Clin. Monit. Comput*. 2004;18(4):303-8.

6. Deletis V, Francesco Sala: Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: A review focus on the corticospinal tracts. *Clinical Neurophysiology* 119 (2008).

7. Deletis V, Isgum V, Amassian VE. Neurophysiological mechanisms underlying motor evoked potentials in anesthetized humans. Part 1. Recovery time of corticospinal tract direct waves elicited by pairs of transcranial electrical stimuli. *Clin. Neurophysiol*. 2001;112:438-44.

8. Fennelly ME, Taylor BA, Heetreed M. Anaesthesia and the motor evoked potential, In: Jones SJ. *Handbook of spinal cord monitoring*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.1993;272-6.

9. Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J. Bone Joint Surg*.1962;44A:591-610.

10. Jellenek D, Jewkes D, Symon L. Noninvasive intraoperative monitoring of motor evoked potentials, *Neurosurgery*. 1991;29:551-7.

11. Kearse Jr LA., Lopez-Bresnahan M, McPeck K., Tambe V. Loss of somatosensory evoked potentials during intramedullary spinal cord surgery predicts postoperative neurologic deficits in motor functions. *J. Clin. Anesth*. 1993;5:392-8.

12. Kelly DL, Goldring S, O'Leary J. Averaged evoked somatosensory responses from exposed cortex. *Arch. Neurol*.1965;13:1-9.

13. Kothbauer K, Deletis V, Epstein FJ. Motor evoked potential monitoring for intramedullary spinal cord tumor surgery: correlation of clinical and neurophysiological data in a series of 100 consecutive proce-

dures. *Neurosurg Focus*.1998;4(5):1-9.

14. Levy WJ, York DH, McCaffrey M, et al. Motor evoked potentials from transcranial stimulation of the motor cortex in humans. *Neurosurgery*.1984;15:287-302.

15. MacDonald D. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J of Clin. Monit and Comp*.2006;20:347-77.

16. McCormick PC, Torres R, Post KD. Intramedullary ependymoma of the spinal cord. *J. Neurosurg*.1990;72:525-32.

17. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature*;1980.

18. Moller A. Intraoperative neurophysiological monitoring. Springer, Third Edition; 2011.

19. Morota N, Deletis V, Constantini S, et al. The role of motor evoked potentials during surgery for intramedullary spinal cord tumors. *Neurosurgery*,1997;41:1327-36.

20. Nuwer MR, Emerson RG, Galloway G, et al. Evidence-based guideline update: Intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials. In: *Neurology guidelines, special addition 2012; (Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the AAN and the AACNS)*.

21. Pelosi L, Stevenson M, Hobbs GJ. Intraoperative motor evoked potentials to transcranial electrical stimulation during two anaesthetic regimens. *Clin. Neurophysiol*. 2001;112:1076-87.

22. Report of Morbidity and Mortality Committee. Scoliosis Research Society Annual Meeting, September; 1974.

23. Sala F, Palandri G, Basso E, et al. Intraoperative motor evoked potentials monitoring improves outcome after surgery of intramedullary spinal cord tumor: a historical control study in 50 patients. *Neurosurgery*. 2006; 58:1129-43.

24. Sloan TB. Intraoperative neurophysiology and anesthesia management. In: Deletis V., Shils J. (eds), *Neurophysiology in neurosurgery*. Amsterdam: Academic Press, Elsevier Science. 2002;1:451-74.

25. Tamaki T, Kubota S. History of the development of intraoperative spinal cord monitoring. *J. Eur. Spine*.2007;Suppl 2:140-6.

26. Taniguchi M, Nadstawek J, Langenbach U, et al. Effects of four intravenous anesthetic agents on motor evoked potentials elicited by magnetic transcranial stimulation. *Neurosurgery*. 1993;33:407-15.

27. Vauzelle C., Stagnara P., Jouvinroux P. Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin. Orthop*.1973;93:173-8.