

<https://doi.org/10.25207/1608-6228-2019-26-5-105-115>



© Коллектив авторов, 2019

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОЛИ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ХИРУРГИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

В. Ю. Мурунов*, Л. В. Коваленко

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа Югры «Сургутский государственный университет», пр. Ленина, д.1, г. Сургут, 628400, Россия

Аннотация

В статье дано определение и представление о роли интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в нейрохирургии. Дана краткая историческая справка, описаны основные методы интраоперационного нейрофизиологического мониторинга — регистрация соматосенсорных и моторных вызванных потенциалов. Описывается электрическая стимуляция коры головного мозга и субкортикальных структур в условиях общего наркоза и в сознании. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг является неотъемлемой частью нейрохирургии, также приобретает все большее значение в ортопедии и полостной хирургии, где существует риск повреждения нервных структур.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, моторные вызванные потенциалы, сенсорные вызванные потенциалы, моторная кора

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мурунов В.Ю., Коваленко Л.В. Современные представления о роли интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в хирургии опухолей головного мозга. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2019; 26(5): 105–115. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2019-26-5-105-115>

Поступила 20.07.2019

Принята после доработки 19.08.2019

Опубликована 25.10.2019

MODERN VIEWS ON THE ROLE OF INTRAOPERATIVE NEUROPHYSIOLOGICAL MONITORING IN BRAIN TUMOUR SURGERY

Vladislav Yu. Murunov*, Lyudmila V. Kovalenko

*Surgut State University,
Lenin ave., 1, Surgut, 628400, Russia*

Abstract

The article defines the role of intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) in neurosurgery, provides a brief historical background, as well as describes the main methods of IONM — somatosensory and motor evoked potentials. The authors describe electrical stimulation of the cerebral cortex and subcortical structures under general anaesthesia and in the conscious

state. IONM is an integral part of neurosurgery, with its importance growing in orthopaedics and cavity surgery, where there is a risk of damaging nerve structures.

Key words: intraoperative neurophysiological monitoring, motor evoked potentials, sensory evoked potentials, motor cortex

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Murunov V.Yu., Kovalenko L.V. Modern Views on the Role of Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Brain Tumour Surgery. *Kubanskii Nauchnyi Meditsinskii Vestnik*. 2019; 26(5): 105–115. (In Russ., English abstract). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2019-26-5-105-115>

Submitted 20.07.2019

Revised 19.08.2019

Published 25.10.2019

Введение

Успешное удаление опухолей головного мозга является сложной задачей при нейрохирургических операциях, даже в случаях макроскопически тотального удаления опухоли радикальность резекции по данным контрольных компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) головного мозга подтверждается менее чем у 40–50% больных [1, 2].

В настоящее время хирургическое лечение глиом не может быть радикальным, это связано прежде всего с биологическими особенностями этих опухолей [3, 4].

Объем хирургического вмешательства имеет различное прогностическое значение, а выживаемость больных прямо связана с радикальностью операции [5]. Принципиальной задачей лечения является качество и продолжительность жизни пациента.

В настоящее время оптимальной, неэкспериментальной стратегией в хирургии опухолей головного мозга является комбинация нейрохирургического вмешательства с тотальным или субтотальным удалением опухолевой ткани, послеоперационной лучевой и химиотерапией [2]. Целью хирургического лечения является максимальное удаление опухолевой ткани с соблюдением физиологической дозволенности, получение гистологического диагноза, который дает возможность выбора адъювантной терапии, и точный взгляд на прогноз [3].

Удаление новообразований, локализующихся в пределах функционально значимых зон больших полушарий головного мозга, представляет еще более сложную нейрохирургическую проблему. Большое число новообразований поражают функционально значимые зоны. Около 60% всех олигодендроглиом и 11% всех глиобластом локализируются фронтопариетально, в области роландовой борозды [3]. При поражении больших полушарий

в области функционально значимых зон вероятность нарастания неврологического дефицита после нейрохирургических вмешательств велика и по данным разных авторов достигает 30% [3].

Наиболее часто после удаления глиом головного мозга возникают регионарные осложнения (32,1%), и в первую очередь травма функционально значимых зон мозга (14,8%) [1].

Большинство нейрохирургов продолжают и в настоящее время оперировать в меру своих знаний классической топографии и пространственного воображения [6]. При этом современные данные функциональной анатомии коры головного мозга показали, что распределение первичных двигательных и чувствительных, а также речевых центров гораздо шире и более вариабельно, чем по классическому учению [6]. Поэтому до сих пор существует риск ошибки в точности доступа и радикальности удаления опухоли, особенно при небольших ее размерах, нечетких границах между здоровой и патологической тканью.

Высокая летальность и инвалидизация больных, значительный социальный и экономический ущерб, наносимый обществу, вызывает интерес исследователей к больным данной категории. Тотальное удаление опухолей головного мозга является трудной задачей, достижимой у 40–50% больных, а хирургическая травма мозга, нанесенная в ходе оперативного вмешательства, нередко приводит к инвалидизации или гибели пациентов [6].

В настоящее время основное значение в снижении травматизации мозга при оперативных вмешательствах имеет применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга [2], что позволяет избежать необратимого неврологического дефицита в послеоперационном периоде [3].

Рассмотрим определение «интраоперационный нейрофизиологический мониторинг», его

цель, дадим характеристику ложноположительных и ложноотрицательных ответов в данной области.

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОМ) использует электрофизиологические методы, такие как электроэнцефалография, электромиография и вызванные потенциалы для оценки работы функций нервных структур (нервы, спинной мозг, определенные зоны головного мозга) в течение операции [1, 2]. Цель использования ИОМ — снижение риска ятрогенного повреждения нервной системы. При хирургии опухолей головного мозга, в частности, — это сохранение высокого функционального статуса пациента (шкала Karnofsky ≥ 70 баллов) [2].

Хирургия в целом может рассматриваться как риск-ассоциированный метод лечения заболеваний. В нейрохирургии, в частности, это потенциальная травма нервной системы [7–9]. Повреждение нервной ткани не всегда возможно идентифицировать, глядя в операционное поле, поэтому необратимые изменения в нервной ткани могут оставаться незамеченными для хирурга в течение операции [3, 6]. ИОМ включает использование нейрофизиологической записи в течение операции для определения изменений в функции нервной системы, которые могут быть вызваны хирургической манипуляцией. В течение поздних 1970-х и ранних 1980-х годов ИОМ применялся в основном в университетских клиниках и крупных госпиталях. В дальнейшем, в ходе совершенствования технологии методики, технического оснащения, с 1980-х годов стало возможным рутинное использование данной методики в стандартных операционных комнатах, стали создаваться нейрофизиологические общества, журналы (Американское общество нейрофизиологического мониторинга, ASNM). На заре становления методики рутинно использовались соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП) и стволовые вызванные потенциалы (СВП) [7].

Использование вызванных потенциалов в интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге с целью снижения риска послеоперационного неврологического дефицита основано на следующих положениях:

- электрические потенциалы могут быть записаны в ответ на стимуляцию;
- эти потенциалы могут изменяться в значительной степени в результате хирургического воздействия;
- надлежащая хирургическая тактика, такая как прекращение манипуляций в ответ на появившиеся изменения в вызванных потенциалах,

будет уменьшать риск перманентного неврологического дефицита в послеоперационном периоде или, по меньшей мере, уменьшать степень неврологического дефицита [7, 10].

Вопрос ложноположительных и ложноотрицательных результатов в интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге в настоящее время интенсивно обсуждается. В некоторых из этих дискуссий ложноположительный результат означает, что хирург был предупрежден о возможном появлении неврологического дефицита, если бы действия хирурга продолжались [7].

Перед тем как обсуждать ложноположительные и ложноотрицательные ответы в ИОМ, следует начать с объяснения терминологии. Типичный пример ложноположительного результата — это использование теста на специфическое заболевание. Когда тест показывает присутствие заболевания, но фактически данная патология отсутствует. Использование той же аналогии в отношении ложноотрицательного результата будет означать, что тест отрицательный, тогда как на самом деле заболевание присутствует. Эти различия не могут быть экстраполированы в область интраоперационного нейрофизиологического исследования. Цель ИОМ не выявлять неврологический дефицит, который развился после манипуляций хирурга, а предупреждать развитие неврологического дефицита в ходе операции. Фактически всегда, когда происходят изменения в вызванных потенциалах, что свидетельствует о риске развития неврологического дефицита, при принятии соответствующих мер (например прекращение хирургических манипуляций) грубых неврологических нарушений после операции не наблюдается. Нет каких-либо серьезных вытекающих последствий, связанных с наличием ложноположительных ответов в интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге. Ситуации, когда хирург был ошибочно информирован об изменениях записываемых потенциалов, которые в дальнейшем были констатированы как техническая ошибка или следствие незначительных изменений в нервной системе, а не вызванные хирургическими манипуляциями, могут рассматриваться как ложноположительный ответ [7].

Наличие ложноотрицательных результатов, которые означают, что серьезные изменения в записываемых потенциалах не были замечены, показывает провал в достижении цели нейрофизиологического мониторинга и может иметь серьезные последствия [1, 7].

Таким образом, определения «ложноположительный» и «ложноотрицательный» результат

не могут быть применимы к интраоперационному нейрофизиологическому мониторингу [7].

Существуют множество методик исследования состояния нервных структур в течение операции. Наиболее часто применяемые методы при удалении внутримозговых опухолей — это картирование функциональных зон (проекция моторной коры, зоны речи) и мониторинг моторных и сенсорных вызванных потенциалов [11]. У пациентов с наличием опухоли в речевой зоне головного мозга (главным образом, зоны Брока и Вернике) применяются операции awake (пробуждение). Данная методика также может быть дополнена ССВП и МВП [6].

Остановимся более подробно на каждой из этих методик.

Соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП)

Интраоперационная запись ССВП, пожалуй, самый ранний электрофизиологический метод, используемый для мониторинга функции ЦНС, в частности спинного мозга [12, 13]. Первые операции, при которых использовалась данная методика, — ортопедические (операции при ско-

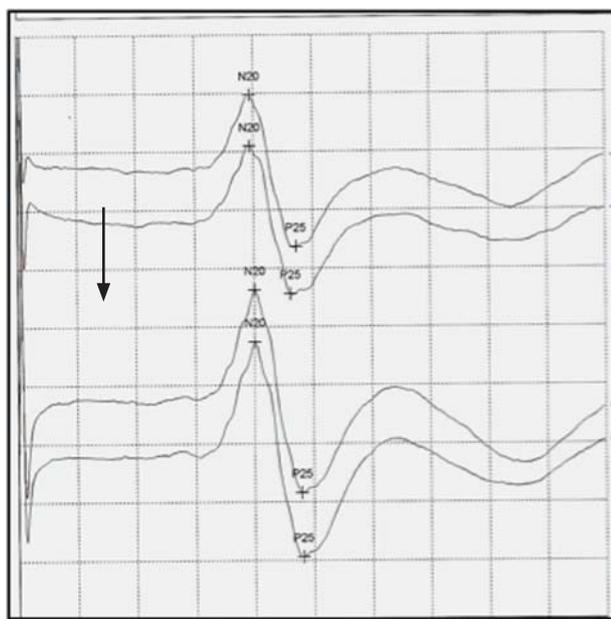


Рис. 1. Соматосенсорный вызванный потенциал срединного нерва. При стимуляции срединного нерва наблюдается негативный пик — N20, что соответствует возбуждению первичной соматосенсорной коры противоположного полушария головного мозга.

Fig. 1. Somatosensory evoked potential of the median nerve. During the stimulation of the median nerve, a negative peak is observed (N20), which corresponds to the excitation of the primary somatosensory cortex of the opposite hemisphere.

лиозе в 1970-х). При данной методике происходит электрическая стимуляция периферического чувствительного нерва и запись со скальповых электродов. Соматосенсорный вызванный ответ возникает путем последовательного возбуждения восходящего соматосенсорного пути. Эти потенциалы состоят из разных компонентов, которые происходят с различной латентностью [11, 12]. ССВП — это индикатор ишемии мозга. В настоящее время это особенно ценно при операциях по поводу аневризм, когда может пострадать бассейн передней циркуляции [11].

Наиболее значимый компонент, генерируемый ССВП, — это N20 (рис. 1), который генерируется первичной соматосенсорной корой, при этом оценивают главным образом его латентность и амплитуду. В некоторых случаях ССВП могут быть использованы для мониторинга функции ствола головного мозга, хотя использование акустических вызванных потенциалов (или стволовых) используется чаще [7, 12].

В целом нарушение чувствительности может быть расценено как легкий неврологический дефицит в сравнении с нарушением двигательной функции, высших корковых функций. Но, как указывалось выше, ССВП имеют большее прогностическое значение. Например, ССВП более чувствительны к ишемии мозговой ткани [14, 15]. Особенное значение они имеют при операциях на позвоночнике, когда есть риск ишемии спинного мозга в процессе ортопедического маневра (при корригирующих операциях на позвоночнике); при удалении опухоли позвоночного канала. Спинной мозг имеет 2 бассейна кровоснабжения: передний и задний, чувствительные проводники в основном соответствуют бассейну задней спинномозговой артерии, двигательные — передней, поэтому при возникновении нарушений в задних отделах спинного мозга МВП могут оставаться интактными. Из этого следует, что важен мультимодальный мониторинг при операциях на ЦНС для получения целостной картины происходящих изменений, а не оценка изолированно одной функции, которая теоретически может пострадать во время операции (как, например, двигательной, которая чаще всего является определяющей) [7].

Моторные вызванные потенциалы (МВП) основаны на стимуляции моторной зоны коры головного мозга (прецентральная извилина) и двигательных проводников (пирамидный тракт в целом, область внутренней капсулы), двигательных корешков, нервов и одновременной регистрации ЭМГ — выявление М-ответа (рис. 2) [7, 16].

Одним из первых, кто активно применял методику интраоперационной электрической стиму-

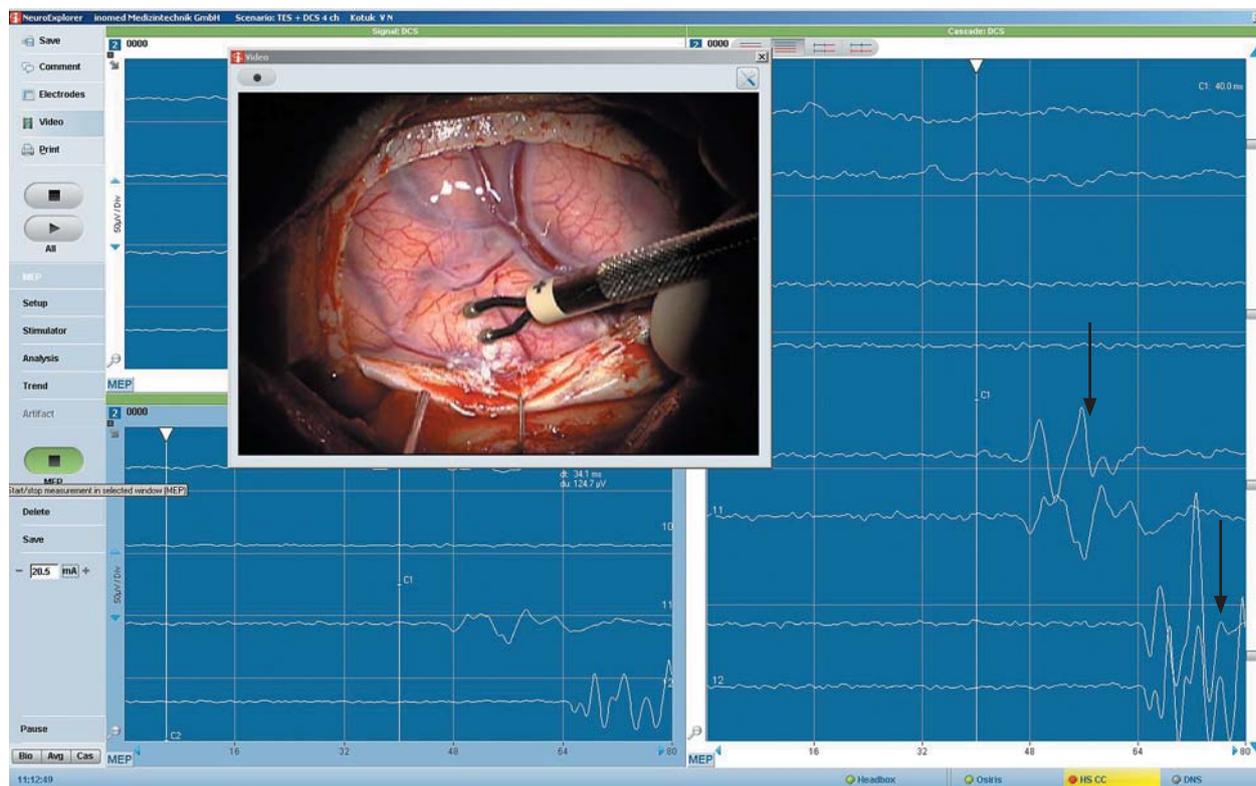


Рис. 2. Моторное картирование коры головного мозга. Во время прямой биполярной стимуляции коры головного мозга в проекции расположения двигательных зон нижней конечности регистрируется отчетливый М-ответ по двум нижним каналам ЭНМГ (указано стрелкой).

Fig. 2. Brain mapping. During bipolar stimulation of the primary motor cortex, a distinct M-response is recorded by two lower ENMG channels (indicated by an arrow).

ляции коры головного мозга и основал учение о соматотопической организации моторной коры, был Wilder Graves Penfield (1891–1976) [7, 11].

Транскраниальная электрическая стимуляция коры головного мозга — наиболее часто используемый метод, а при удалении субкортикальных опухолей головного мозга методика дополняется прямой стимуляцией коры [3].

Общепринятым мнением является то, что на поверхность головного мозга должен быть приложен позитивный ток (анод), т.к. он считается более эффективным, чем негативный ток, для активации нисходящих двигательных путей. Электрические импульсы стимулируют волокна в церебральной коре, затем (если раздражаемая зона является моторной) потенциал действия достигает альфа-мотонейрона переднего рога спинного мозга, далее клетки-мишени — миоцит, при этом происходит сокращение мышечной ткани, что регистрируется электромиографией. Регистрируемый при этом сигнал называется М-ответ. Так как методика основана на регистрации ЭМГ, недостатком является то, что интраоперационно миорелак-

санты могут исказить или блокировать М-ответ и, значит, они не должны использоваться [7, 17].

Кроме того, регистрация ЭМГ потенциала зависит и от возбудимости альфа-мотонейрона. Возбудимость его уменьшается под воздействием анестетиков (из-за уменьшения потока импульсов из вышележащих отделов ЦНС, которые в норме (в сознании) снижают порог возбудимости альфа-мотонейрона). Поэтому при стимуляции коры головного мозга в наркозе используется, так называемый «трейн» — стимуляция, которая состоит из нескольких импульсов (1–6), чем и достигается возбуждение альфа-мотонейрона и, соответственно, регистрация М-ответа [7]. Применение МВП основано на том, что при повреждении двигательного нерва, пирамидного тракта, моторной коры головного мозга (механическое раздражение, травма, ишемия) снижается амплитуда М-ответа, и это будет предупреждающим сигналом для хирурга [18, 19].

На нейрофизиологические параметры в значительной степени могут влиять некоторые препараты, используемые для наркоза, например

ингаляционные анестетики. Мероприятия, проводимые при обнаружении нарастающих изменений ССВП или МВП, зависят от степени и стойкости этих изменений. Не всегда эти изменения напрямую связаны с повреждением нервных структур. Изменения вызванных потенциалов возможны из-за некорректного расположения электродов, действия анестетиков, падения артериального давления, низкой температуры тела пациента [7].

Проекция моторных зон в коре головного мозга сосредоточена, главным образом, в прецентральной извилине лобной доли. Но так же как и сенсорная кора, данная зона не имеет строго определенных границ, к тому же при длительном воздействии патологического очага функциональные зоны головного мозга могут менять свое топическое расположение, что и требует выполнения картирования функционально значимых зон перед хирургическим воздействием. Выделяются первичная моторная кора, премоторная кора и дополнительная моторная кора (рис. 3) [3, 8, 19, 20].

Первичная моторная кора (поле 4 по Brodman):

- соматотопическая организация;
- моносинаптическая связь с мотонейронами спинного мозга;
- минимальный порог индукции движений при стимуляции.

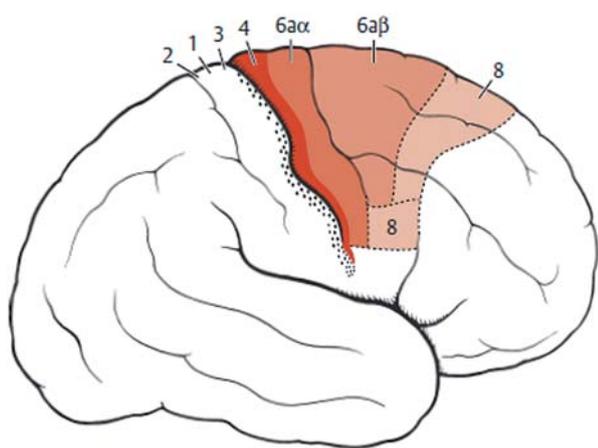


Рис. 3. Проекция моторных зон на кору головного мозга. 1, 2, 3 — первичная соматосенсорная кора; 6аа — премоторная кора; 6аb — дополнительная моторная кора; 4 — первичная моторная кора; 8 — префронтальная кора, центр произвольных движений глаз [20].

Fig. 3. Motor areas of the cerebral cortex. 1, 2, 3 — primary somatosensory cortex; 6аа — premotor cortex; 6аb — supplementary motor cortex; 4 — primary motor cortex; 8 — prefrontal cortex, the centre of voluntary eye movements.

- Премоторная кора (поле 6 по Brodman):
- моно- и полисинаптическая связь с мотонейронами спинного мозга;
- стимуляция приводит к возникновению сложных координированных движений;
- высокий порог индукции движений при стимуляции;
- за счет обширных связей с ассоциативными областями коры участвует в подготовке и планировании движений.
- Дополнительная моторная кора (медиальная часть поля 6 по Brodman):
- участвует в моносинаптической иннервации мотонейронов спинного мозга для дистальных мышц кисти;
- трансформирует намерение в конкретную двигательную программу;
- участвует в подготовке сложных автоматизированных программ и двигательном обучении [2, 5].

Также для ИОМ возможно использование таких модальностей, как зрительные вызванные потенциалы, стволовые (акустические) вызванные потенциалы, электроэнцефалография и электрокортикография, выбор каждой из которых будет определяться тем, какая зона ЦНС будет подвергаться хирургическому воздействию, т.е. риску повреждения. Мы лишь разобрали наиболее часто используемые модальности — МВП и ССВП, запись которых осуществляется и при операциях с пробуждением (awake) [7].

Электрическая стимуляция коры головного мозга и субкортикальных структур в условиях общего наркоза и в сознании

Методика вызванных потенциалов с целью соматосенсорного и моторного картирования широко используется с 1990-х гг. Однако надежность этого метода относительно локализации роландовой борозды не является оптимальной, точность данного исследования составляет от 91 до 94% [21]. Оценка общей чувствительности и негативных последствий составляет примерно 79 и 96% соответственно [22]. Кроме того, методика регистрации реверсии фазы помогает в определении локализации роландовой борозды, но не дает информации о распределении моторных функций на соседних участках, подвергающихся оперативному вмешательству [13]. И хотя методика моторных вызванных потенциалов была усовершенствована, она дает возможность регистрировать вызванные потенциалы только с контролируемых мышц, но не позволяет выявить и предотвратить возможный дефицит в мышцах, не подвергаю-

щихся мониторингу. Мониторинг моторных вызванных потенциалов не включает оценку сложных движений и намеренных движений, которые являются для пациента конечной целью двигательной активности [19, 23]. Также недостатком данной методики является невозможность ее использования с целью контроля функций речи, памяти и других высших мозговых функций, которые имеют решающее значение для качества жизни пациента [15].

Устранить эти недостатки и таким образом дополнить процедуру ИОМ позволяет пробуждение пациента. Операции с пробуждением (*awake surgery*) — это нейрохирургические вмешательства, которые осуществляются с интраоперационным выведением пациента из наркозного сна с целью выявления и сохранения функционально значимых зон головного мозга во время удаления опухолей, расположенных рядом с корковыми и подкорковыми речевыми, двигательными и другими (зрение, счет, письмо, эмоции, семантика) центрами [22].

Впервые описание краниотомии в сознании было опубликовано Horsley 120 лет назад [24]. Позже краниотомию в сознании широко использовали Penfield, Ojemann. В нашей стране одними из первых, кто применил данную методику, стали В. А. Лошаков, А. Ю. Лубнин, Г. А. Щекутьев на рубеже XX–XXI веков [22].

Показаниями к использованию технологии операций с интраоперационным пробуждением и определением речевых зон являются объемные образования, локализующиеся в проекции или в непосредственной близости от корковых центров речи (включая опухоли, артериовенозные мальформации), а также хирургия эпилепсии, например височная лобэктомия в доминантном полушарии [25]. Ограничениями (противопоказаниями) для данной технологии являются главным образом невозможность выполнения пациентом необходимых тестов вследствие грубых речевых нарушений или других причин — страха перед пробуждением во время операции, выраженных психических нарушений, не позволяющих осуществить необходимое взаимодействие в ходе операции [26].

Методика выглядит следующим образом. На основном этапе операции пациента пробуждают (с позиции анестезиологии существует несколько подходов к данным операциям: *asleep-awake-asleep*, *asleep-awake*) [25, 27]. С пациентом устанавливается контакт, оцениваются высшие корковые функции, неврологический статус. Затем выполняется электрическая стимуляция коры головного мозга (также

может быть вариабельна: моно- и биполярная, по методике Penfield или Tanaguchi) [22]. Сила тока подбирается индивидуально для каждого пациента. Пациента не информируют о том, когда происходит стимуляция. Один и тот же участок не стимулируется 2 раза подряд, одновременно оценивается неврологический статус, высшие корковые функции [21]. Электрическая стимуляция моторных зон под общей анестезией вызывает неконтролируемые движения, а при операциях в сознании — нарушение движений, соматосенсорных зон — появление дизестезий, описываемых самим пациентом [22, 26]. При стимуляции зрительных зон возникает дефицит поля зрения, речевых зон — появление афазии, дизартрии, персевераций. Таким образом, интраоперационное электростимуляционное картирование выявляет в текущем времени расположение функционально важных зон до начала операции и помогает определить наилучшую хирургическую тактику резекции опухоли в пределах этих зон [15, 28].

Некоторые авторы подчеркивают роль «негативного картирования» (без идентификации функционально важных зон) [15, 23]. Такой подход приемлем в отношении глиом высокой степени злокачественности (целью хирургического вмешательства является удаление объемной части опухоли), однако при операциях на диффузных глиомах низкой степени злокачественности, особенно в неспециализированных учреждениях, «негативное картирование» может быть опасным. Поскольку глиомы низкой степени злокачественности часто не имеют четкой границы, объем резекции во многом зависит от функциональных критериев. Кроме того, метод «негативного картирования» может дать ложноотрицательный результат, следовательно, не гарантирует вполне отсутствие функционально важных зон [14, 21].

Метаанализ операций с применением интраоперационного картирования коры головного мозга показал на 58% снижение заболеваемости и улучшение степени резекции опухоли в сравнении с операциями где не проводилось картирование [28].

Несмотря на то что методика широко известна, краниотомии в сознании применяются менее чем в 22% в хирургии глиом. Это, возможно, связано со сложностью процедуры, критериями отбора пациентов, индуцированными стимуляцией судорогами. Примерно в 6,4% наблюдений процедура прерывается из-за тех или иных осложнений. Частота интраоперационных стимул-индуцированных судорог варьирует по данным разных авторов от 2,2 до 21,5% [10, 28].

Заключение

Таким образом, ИОМ является неотъемлемой частью нейрохирургии. ИОМ также приобретает все большее значение в ортопедии и полостной хирургии, где существует риск повреждения нервных структур. В настоящее время большое число научных работ посвящено оценке эффективности ИОМ при определенных видах операций, определенной патологии. Все больший ин-

терес приобретают операции с пробуждением. В Ханты-Мансийском автономном округе, в частности в Сургутской клинической травматологической больнице, эти операции выполняются с 2013 г., и уже на сегодняшний день выполнено 14 операций, с использованием ИОМ — 85.

По мнению ведущих нейрохирургов, ИОМ должен стать рутинной процедурой при операциях на головном и спинном мозге [6, 16].

Вклад авторов**Мурунов В. Ю.**

Разработка концепции — формулировка и развитие ключевых целей и задач.

Проведение исследования — анализ и интерпретация полученных данных.

Подготовка и редактирование текста — составление черновика рукописи, его критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания; участие в научном дизайне.

Утверждение окончательного варианта — принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант

Подготовка визуализации данных.

Коваленко Л. В.

Разработка концепции — формирование идеи; формулировка и развитие ключевых целей и задач.

Проведение исследования — анализ и интерпретация полученных данных.

Подготовка и редактирование текста — составление черновика рукописи, его критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания; участие в научном дизайне.

Утверждение окончательного варианта — принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Подготовка визуализации данных.

Author contributions**V. Yu. Murunov**

Concept development — definition and development of key aims and objectives.

Conducting research — analysis and interpretation of the obtained data.

Manuscript preparation and editing — drafting of the manuscript, critical revision of the draft manuscript for important intellectual content; participation in scientific design.

Approval of the final manuscript — accountability for all aspects of the work, including the integrity of all parts of the article and its final version.

Preparation of data visualisation.

L. V. Kovalenko

Concept development — idea development; definition and development of key aims and objectives.

Conducting research — analysis and interpretation of the obtained data.

Manuscript preparation and editing — drafting of the manuscript, critical revision of the draft manuscript for important intellectual content; participation in scientific design.

Approval of the final manuscript — accountability for all aspects of the work, including the integrity of all parts of the article and its final version.

Preparation of data visualisation.

Список литературы

1. Лумента Х., Ди Россо К., Хаасе Й., Мозей Я. *Нейрохирургия. Европейское руководство: в 2-х томах*. Гуляев Д.А., редактор. М.: Издательство Панфилова. Бином. Лаборатория знаний; 2013. Т. 1. 392 с.
2. Карташев А.В., Виноградов В.М., Киселева Л.Н. *Злокачественные глиомы головного мозга*. Lambert Academic Published: 2011. 292 с.
3. Hayat M.A. *Tumors of the central nervous system*. New York: Springer; 2013. V. 1. 434 p.
4. Benet A., Harvey-Jumper S.L., Gonzalez Sanchez J.J., Lawton M.T., Berger M.S. Surgical assessment of the insula. Part 1: surgical anatomy and morphometric analysis of the transylvian and transcortical approaches to the insula. *Neurosurgery*. 2016; 124(2): 469–481. DOI: 10.3171/2014.12.JNS142182
5. Thomas N. *Champney Essential clinical neuroanatomy*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2015. 320 p.
6. Duffau H. *Diffuse low grade gliomas in adults*. New York: Springer; 2017. 739 p.

7. Moller A.R. *Intraoperative Neurophysiological monitoring*. 2nd ed. Dallas, TX: Humana Press Inc.; 2014. 356 p.
8. Gravesteyn B.Y., Keizer M.E., Vincent A.J.P.E., Schouten J.W., Stolker R.J., Klimek M. Awake craniotomy versus craniotomy under general anesthesia for the surgical treatment of insular glioma: choices and outcomes. *Neurological Research*. 2018; 40(2): 87–96. DOI: 10.1080/01616412.2017.1402147
9. Зенков Л.Р. *Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей*. 8-е издание. М.: МЕДпресс-информ; 2017. 360 с.
10. Kileny P.R. *Intraoperative neurophysiological monitoring*. 1st ed. San Diego, CA: Plural Publishing, Inc.; 2018. 195 p.
11. Гринберг М.С. *Нейрохирургия*. М.: МЕДпресс-информ; 2010. 1008 с.
12. Щекутьев Г.А., Анзимиров В.Л., Архипова Н.А., Болдырева Г.Н., Гасанов Я.К., Романова Н.В., Сазонова О.Б., Трошина Е.М. *Нейрофизиологические исследования в клинике*. М.: Антидор; 2019. 231 с.
13. Raynor B.L., Bright J.D., Lenke L.G., Rahman R.K., Bridwell K.H., Riew K.D., Buchowski J.M., Luchman J.S., Padberg A.M. Significant change or loss of intraoperative monitoring data: A 25-year experience in 12,375 spinal surgeries. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013; 38(2): 101–108. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31827aafb9
14. Sacko O., Lauwers-Cances V., Brauge D., Sesay M., Brenner A., Roux F. E. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery*. 2011; 68(5): 1192–1199. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31820c02a3
15. Husain A. M. *A Practical approach to Neurophysiologic intraoperative monitoring*. 2nd ed. New York: Demos Medical Publishing; 2008. 316 p.
16. Kayama T. The guidelines for awake neurosurgery. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. 2012; 52(3): 119–141.
17. Taplin A.M., Pesterev A., Brunner P., Hermes D., Dalfino J.C., Adamo M.A., Ritaccio A.L., Schalk G. Intraoperative mapping of expressive language cortex using passive real-time electrocorticography. *Epilepsy Behav. Case Rep*. 2016; 5: 46–51. DOI: 10.1016/j.ebcr.2016.03.003
18. Nakai Y., Jeong J., Brown E.C., Rothermel R., Kojima K., Kambara T., Shah A., Mittal S. Three- and four-dimensional mapping of speech and language in patients with epilepsy. *Brain. J. Neurosurg*. 2017; 140(5): 1351–1370. DOI: 10.1093/brain/awx051
19. Риццоллатти Д., Синигалья К. *Зеркала в мозге: о механизмах совместного действия и сопереживания*. Пер. с англ. О.А. Куракова, М.В. Фаликман. М.: Языки славянских культур; 2012. 208 с.
20. Потапов А.А., Горяйнов С.А., Жуков В.Ю., Пицхелаури Д.И., Кобяков Г.Л., Пронин И.Н., Захарова Н.Е., Таноян А.А., Огурцова А.А., Буклинова С.Б., Меликян З.А. Длинные ассоциативные пути белого вещества головного мозга: современный взгляд с позиции нейронаук. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2014; 78(5): 66–77.
21. Кобяков Г.Л., Лубнин А.Ю., Куликов А.С., Гаврилов А.Г., Горяйнов С.А., Поддубский А.А., Лодыгина К.С. Краниотомия в сознании. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2016; 80(1): 107–116. DOI: 10.17116/неuro2016801107-116
22. De Witt Hamer P.C., Robles S.G., Zwinderman A.H., Duffau H., Berger M.S. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis. *J. Clin. Oncol*. 2012; 30(20): 2559–2565. DOI: 10.1200/jco.2011.38.4818
23. Powell M.P. Sir Victor Horsley at the birth of neurosurgery. *Brain*. 2016; 139(2): 631–634. DOI: 10.1093/brain/awv345
24. Duffau H. Awake surgery for nonlanguage mapping. *Nerosurgeon*. 2010; 66: 523–528. DOI: 10.1227/01.NEU.0000364996.97762.73
25. Taylor M.D., Bernstein M. Awake craniotomy with brain mapping as a routine surgical approach to treating patients with supratentorial tumors. *J. Neurosurg*. 1999; 90(1): 35–41.
26. Kim S.S., McCutcheon I.E., Suki D., Weinberg J.S., Sawaya R., Lang F.F., Ferson D., Heimberger A.B., DeMonte F., Prabhu S.S. Awake craniotomy for brain tumors near eloquent cortex: correlation of intraoperative cortical mapping with neurological outcomes in 309 consecutive patients. *Neurosurgery*. 2009; 64(5): 836–846. DOI: 10.1227/01.neu.0000342405.80881.81
27. Hervey-Jumper S.L., Li J., Lau D., Molinaro A.M., Perry D.W., Meng L., Berger M.S. Awake craniotomy to maximize glioma resection: methods and technical nuances over a 27-year period. *J. Neurosurg*. 2015; 123(2): 325–339. DOI: 10.3171/2014.10.jns141520

References

1. Lumenta Kh., Di Rosso K., Khaase I., Moei Ya. *Neirokhirurgiya. Evropeiskoe rukovodstvo: v 2-kh tomakh [Neurosurgery. European guide: in 2 volumes]*. Gulyaev D.A., editor. Moscow: Izdatel'stvo Panfilova. Binom. Laboratoriya znanii; 2013. T.1. 392 p. (In Russ.).
2. Kartashev A.V., Vinogradov V.M., Kiseleva L.N. *Zlo-kachestvennye gliomy golovnogo mozga [Malignant gliomas of the brain]*. Lambert Academic Published: 2011. 292 p. (In Russ.).
3. Hayat M. A. *Tumors of the central nervous system*. New York: Springer; 2013. V. 1. 434 p.

4. Benet A., Harvey-Jumper S.L., Gonzalez Sanchez J.J., Lawton M.T., Berger M.S. Surgical assessment of the insula. Part 1: surgical anatomy and morphometric analysis of the transylvian and transcortical approaches to the insula. *Neurosurgery*. 2016; 124(2): 469–481. DOI: 10.3171/2014.12.JNS142182
5. Thomas N. Champney *Essential clinical neuroanatomy*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2015. 320 p.
6. Duffau H. *Diffuse low grade gliomas in adults*. New York: Springer; 2017. 739 p.
7. Moller A.R. *Intraoperative Neurophysiological monitoring*. 2nd ed. Dallas, TX: Humana Press Inc.; 2014. 356 p.
8. Gravesteyn B.Y., Keizer M.E., Vincent A.J.P.E., Schouten J.W., Stolker R.J., Klimek M. Awake craniotomy versus craniotomy under general anesthesia for the surgical treatment of insular glioma: choices and outcomes. *Neurological Research*. 2018; 40(2): 87–96. DOI: 10.1080/01616412.2017.1402147
9. Zenkov L.R. *Klinicheskaya elektroentsefalografiya (s elementami epileptologii). Rukovodstvo dlya vrachei [Clinical electroencephalography (with elements of epileptology). A guide for doctors]*. 8th edition. Mpscow: MEDpress-inform; 2017. 360 p. (In Russ.).
10. Kileny P.R. *Intraoperative neurophysiological monitoring*. 1st ed. San Diego, CA: Plural Publishing, Inc.; 2018. 195 p.
11. Grinberg M.S. *Neirokhirurgiya [Neurosurgery]*. Moscow: MEDpress-inform; 2010. 1008 p. (In Russ.).
12. Shchekut'ev G.A., Anzimirov V.L., Arkhipova N.A., Boldyreva G.N., Gasanov Ya.K., Romanova N.V., Sazonova O.B., Troshina E.M. *Neirofiziologicheskie issledovaniya v klinike [Neurophysiological studies in the clinic]*. M.: Antidor; 2019. 231 p. (In Russ.).
13. Raynor B.L., Bright J.D., Lenke L.G., Rahman R.K., Bridwell K.H., Riew K.D., Buchowski J.M., Luchman J.S., Padberg A.M. Significant change or loss of intraoperative monitoring data: A 25-year experience in 12,375 spinal surgeries. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013; 38(2): 101–108. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31827aafb9
14. Sacko O., Lauwers-Cances V., Brauge D., Sesay M., Brenner A., Roux F.E. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery*. 2011; 68(5): 1192–1199. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31820c02a3
15. Husain A.M. *A Practical approach to Neurophysiologic intraoperative monitoring*. 2nd ed. New York: Demos Medical Publishing; 2008. 316 p.
16. Kayama T. The guidelines for awake neurosurgery. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. 2012; 52(3): 119–141.
17. Taplin A.M., Pesterev A., Brunner P., Hermes D., Dalfino J.C., Adamo M.A., Ritaccio A.L., Schalk G. Intraoperative mapping of expressive language cortex using passive real-time electrocorticography. *Epilepsy Behav. Case Rep*. 2016; 5: 46–51. DOI: 10.1016/j.ebcr.2016.03.003
18. Nakai Y., Jeong J., Brown E.C., Rothermel R., Kojima K., Kambara T., Shah A., Mittal S. Three- and four-dimensional mapping of speech and language in patients with epilepsy. *Brain. J. Neurosurg*. 2017; 140(5): 1351–1370. DOI: 10.1093/brain/awx051
19. Ritstsolatti D., Sinigal'ya K. *Zerkala v mozge: o mekhanizmax sovместного deistviya i soperezhivaniya [Mirrors in the brain: the mechanisms of joint action and empathy]*. Transl. from Engl. O.A. Kurakova, M.V. Falikman. M.: Yazyki slavyanskikh kul'tur; 2012. 208 p. (In Russ.).
20. Potapov A.A., Goryainov S.A., Zhukov V.Yu., Pitskhe-lauri D.I., Kobayakov G.L., Pronin I.N., Zakharova N.E., Tanoyan A.A., Ogurtsova A.A., Buklinova S.B., Melikyan Z.A. The Long-associative pathways of the white matter: modern view from the perspective of neuroscience. *Voprosy Neirokhirurgii im. N.N. Burdenko*. 2014; 78(5): 66–77. (In Russ., English abstract).
21. Kobayakov G.L., Lubnin A.Yu., Kulikov A.S., Gavrilov A.G., Goryainov S.A., Poddubskii A.A., Lodygina K.S. Awake craniotomy. *Voprosy Neirokhirurgii im. N.N. Burdenko*. 2016; 80(1): 107–116. (In Russ., English abstract). DOI: 10.17116/neiro2016801107-116
22. De Witt Hamer P.C., Robles S.G., Zwinderman A.H., Duffau H., Berger M.S. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis. *J. Clin. Oncol*. 2012; 30(20): 2559–2565. DOI: 10.1200/jco.2011.38.4818
23. Powell M.P. Sir Victor Horsley at the birth of neurosurgery. *Brain*. 2016; 139(2): 631–634. DOI: 10.1093/brain/awv345
24. Duffau H. Awake surgery for nonlanguage mapping. *Nerosurgeon*. 2010; 66: 523–528. DOI: 10.1227/01.NEU.0000364996.97762.73
25. Taylor M.D., Bernstein M. Awake craniotomy with brain mapping as a routine surgical approach to treating patients with supratentorial tumors. *J. Neurosurg*. 1999; 90(1): 35–41.
26. Kim S.S., McCutcheon I.E., Suki D., Weinberg J.S., Sawaya R., Lang F.F., Ferson D., Heimberger A.B., DeMonte F., Prabhu S.S. Awake craniotomy for brain tumors near eloquent cortex: correlation of intraoperative cortical mapping with neurological outcomes in 309 consecutive patients. *Neurosurgery*. 2009; 64(5): 836–846. DOI: 10.1227/01.neu.0000342405.80881.81
27. Hervey-Jumper S.L., Li J., Lau D., Molinaro A.M., Perry D.W., Meng L., Berger M.S. Awake craniotomy to maximize glioma resection: methods and technical nuances over a 27-year period. *J. Neurosurg*. 2015; 123(2): 325–339. DOI: 10.3171/2014.10.jns141520

Сведения об авторах / Information about the authors

Мурунов Владислав Юрьевич* — аспирант кафедры патологической физиологии и общей патологии медицинского института бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа Югры «Сургутский государственный университет».

Контактная информация: e-mail: murunov8@gmail.com, тел.: +7 (922) 797-67-65;

пр. Ленина, д. 54, кв. 95, г. Сургут, 628400, Россия.

Коваленко Людмила Васильевна — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой патологической физиологии и общей патологии медицинского института бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа Югры «Сургутский государственный университет».

Vladislav Yu. Murunov* — Postgraduate Researcher, Department of Pathophysiology and General Pathology, Medical Institute, Surgut State University.

Contact information: e-mail: murunov8@gmail.com, tel.: +7 (922) 797-67-65;

Lenina ave., 54-95, Surgut, 628400, Russia.

Lyudmila V. Kovalenko — Dr. Sci. (Med.), Prof., Head of the Department of Pathophysiology and General Pathology, Medical Institute, Surgut State University.

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author