

Интраоперационное моторное картирование: влияние общих анестетиков на возбудимость коры

М. В. Александров, д.м.н., профессор, врач функциональной диагностики высшей категории, заведующий отделением клинической нейрофизиологии, ведущий научный сотрудник^{1,2}

И. А. Костенко, заведующая кабинетом нейрокогнитивных исследований¹

О. А. Топоркова, врач функциональной диагностики отделения клинической нейрофизиологии¹

Р. В. Назаров, к.м.н., заведующий отделением нейрореанимации³

М. М. Тастанбеков, д.м.н., заведующий НИЛ нейроонкологии¹

В. С. Черный, д.м.н., ведущий научный сотрудник²

¹РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России), Санкт-Петербург

²ФГБУН «Институт токсикологии» ФМБА России, Санкт-Петербург

³ФГБУЗ «Клиническая больница №122 им. Л. Г. Соколова» ФМБА России, Санкт-Петербург

Intraoperative neurophysiological mapping: the effect of general anaesthetic impact on brain cortex affectability

M. V. Aleksandrov^{1,2}, I. A. Kostenko¹, O. A. Toporkova¹, R. V. Nazarov³, M. M. Tastanbekov¹, V. S. Chernyj²

¹Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

²Institute of Toxicology of Federal Medical and Biological Agency, Saint-Petersburg, Russia

³L. G. Sokolov Memorial Hospital № 122 of Federal Medical and Biological Agency, Saint-Petersburg, Russia

Резюме

В основе интраоперационного картирования моторной коры лежит возбудимость нейронов коры при действии электрического тока, которая во многом зависит от механизма действия и дозы общего анестетика. Целью исследования был анализ электрической возбудимости коры головного мозга при интраоперационном моторном картировании при общей анестезии пропופолом и севофлюраном. Работа выполнена в ходе обследования и хирургического лечения 63 больных (мужчины/женщины 25/38, возраст 21–69 лет) с внутримозговыми образованиями (глиальные опухоли, метастазы, кавернозные мальформации), проходивших лечение в РНХИ им. проф. А. Л. Поленова. Пороговая сила тока стимуляции моторной коры при выполнении картирования на фоне ингаляционного наркоза севофлюраном значительно выше, чем при внутривенной анестезии пропופолом. При внутривенной анестезии пропополом в дозах, вызывающих подавление спонтанной биоэлектрической активности коры, происходит резкое снижение возбудимости моторной коры при прямой электростимуляции. Ингаляционный анестетик севофлюран вызывает равномерное дозозависимое увеличение пороговой силы тока при выполнении интраоперационного картирования моторной коры, что обусловлено угнетением возбудимости корковых нейронов и проводимости в нервной системе.

Ключевые слова: биоэлектрическая активность головного мозга, интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, моторное картирование, общая анестезия, севофлюран, пропופол.

Summary

Neuron irritation lies at the heart of intraoperative motor mapping and varies with the general anaesthetic type and dose. Basing on the analysis of 63 cases (male/female 25/38, aged 21–69) of brain tumors (glial tumors, metastasis, cavernous angiomas) the study explores the role of propofol and sevoflurane in the affectability of cortex neurons during the intraoperative neurophysiological mapping. The study has clearly demonstrated that the liminal current strength is notably higher when inhalation anaesthesia (sevoflurane) is used, than in the case of TIVA (propofol). The propofol activity in the doses causing brain activity depression results in a sharp increase in the excitability threshold. In contrast, sevoflurane causes a steady dose-related rise in the liminal current strength during the motor area galvanic stimulation due to the suppression of affectability and conduction in the nervous system.

Key words: intraoperative neurophysiological monitoring, motor mapping, bioelectrical brain activity, general anesthesia, sevoflurane, propofol.

Стремление к увеличению радикальности удаления новообразований, расположенных в опасной близости к двигательным зонам коры мозга, существенно увеличивает риск появления послеоперационного моторного неврологического дефицита в результате хирургического повреждения этой области мозга. Для интраоперационной локализации зон представительства двигательных мышц выполняется моторное картирование. Интраоперационное моторное картирование (МК) — нейрофизиологическая методика, основанная на прямой электростимуляции моторной коры и регистрации вызванных двигательных ответов в мышцах-мишенях. Она позволяет уточнить границы проекционного центра произвольных движений (моторной коры) в прецентральной извилине и, таким образом, снизить риск развития послеоперационных двигательных нарушений [3, 8, 10, 12]. В основе интраоперационного МК лежит возбудимость нейронов коры, которая, безусловно, во многом зависит от механизма действия и дозы общего анестетика.

Целью исследования был анализ электрической возбудимости коры головного мозга при интраоперационном моторном картировании при общей анестезии пропополом и севофлюраном у больных с новообразованиями в области центральных извилин.

Материалы и методы

В основу работу положен анализ результатов обследования и хирургического лечения 63 больных (мужчины/женщины 25/38, возраст 21–69 лет, индекс массы тела < 35 кг/м²) с патологическими процессами (глиальные новообразования, метастатические опухоли, кавернозные мальформации), расположенными в области центральных извилин мозга. Все больные проходили лечение в РНХИ им. проф. А. Л. Поленова в 2016–2019 годах.

Нейрохирургическое оперативное лечение включало костнопластическую трепанацию черепа, резекцию патологическо-

го образования с различной степенью радикальности. В зависимости от вида общей анестезии больные были разделены на две группы. В первой группе (37 больных) оперативное вмешательство проводилось по протоколу тотальной внутривенной анестезии пропофолом в дозах от 3 до 7 мг/кг час для поддержания анестезии. В 26 случаях (группа 2) в качестве ингаляционного анестетика использовался севофлоран в дозах от 0,5 до 1,2 МАК (минимальная альвеолярная концентрация). В некоторых случаях доза анестетика менялась согласно задачам этапа операции. Такие случаи включались в модель как самостоятельные наблюдения, выполненные при разных дозах анестетика. В итоге в исследование вошли 50 наблюдений с проведением общей анестезии пропофолом и 37 случаев, когда анестезия выполнялась севофлораном при разных уровнях дозы анестетика.

Обследованные группы были сопоставимы по полу, возрасту, антропометрическим параметрам, тяжести состояния (табл. 1). Различия между группами по указанным параметрам не были статистически значимыми ($p < 0,05$).

Особенностью проведения общей анестезии в обеих группах было ограничение введения миорелаксантов в связи с необходимостью сохранения оптимального уровня нервно-мышечной передачи для получения вызванных моторных ответов с мышц-мишеней при картировании моторной коры. В этой связи использовались только миорелаксанты короткого действия на этапе вводного наркоза. Уровень нервно-мышечной передачи контролировался с помощью методики TOF (train-of-four). Стимуляция выполнялась пачкой из четырех электрических стимулов длительностью 500 мкс интенсивностью 30–50 мА (выше моторного порога), подаваемых с частотой 1–2 Гц. Стимуляционные игольчатые электроды располагались в проекции *n. medianus*. Регистрация осуществлялась игольчатыми электродами, установленными на *m. abductor pollicis brevis*. Определялось отношение (в %) амплитуд первого и четвертого М-ответов. В обеих группах стимуляция моторной коры выполнялась при уровне TOF не ниже 65%.

Обязательным условием проведения высокотехнологичного нейрохирургического лечения внутримозговых патологических новообразований является применение интраоперационного нейрофизиологического полимодального мониторинга. Основой мониторинга при удалении опухолей в области центральных извилин было картирование моторной коры, электроэнцефалография (ЭЭГ) и электрокортикография (ЭКоГ). Регистрация нейрофизиологических параметров выполнялась на аппаратно-программном комплексе «IOM ISIS» (Inomed, Германия).

Интраоперационное МК проводили путём прямой электрической стимуляции коры биполярным методом. Стимуляция проводилась пачкой из 4 стимулов длительностью 50 мкс каждый, межстимульный интервал — 4 мс. Начальная сила тока составляла 1 мА, в дальнейшем её постепенно увеличивали с шагом 0,5–1,0 мА до появления устойчивых воспроизводимых вызванных потенциалов в мышцах-мишенях на контралатеральной стороне тела: *mm. orbicularis oris, orbicularis oculi, deltoideus, triceps brachii, brachioradialis, abductor pollicis brevis, abductor digiti minimi, quadriceps femori, gastrocnemius, tibialis anterior, abductor hallucis*. Моторные вызванные потенциалы (М-ответы) регистрировали с помощью подкожных игольчатых

электродов. Минимальная сила тока, вызвавшая устойчивый воспроизводимый ответ при стимуляции коркового представительства мышц-мишеней, определялась как пороговая сила тока стимуляции (мА). Сила тока при стимуляции не превышала 30 мА. В случае, если моторный ответ не был получен при данном значении, констатировали отсутствие моторной зоны в исследуемой области, о чём сообщалось хирургу. В исследование включены только те наблюдения, при которых хотя бы с одной зоны моторной коры были получены двигательные ответы мышц-мишеней контралатеральных конечностей.

Регистрация ЭЭГ и ЭКоГ выполнялась для контроля уровня анестезии, а также для верификации эпилептической активности как предиктора развития эпилептического приступа при прямой электрической стимуляции коры [3, 4, 5, 9]. ЭЭГ регистрировали игольчатыми электродами в отведениях F3, F4, C3, C4, O1, O2 по Международной системе «10–20». Паттерн оценивался в биполярных продольных полушарных отведениях и в монополярных отведениях относительно объединенного референта АА. Полоса пропускания от 1,6 до 35 Гц. ЭКоГ регистрировалась биполярно электродными сетками 2x4 (AdTech, США) над доступными из операционного доступа областями коры мозга. Полоса пропускания от 1,6 до 35 Гц.

Для оценки глубины угнетения механизмов генерации биоэлектрической активности головного мозга при общей анестезии оценивалась непрерывность паттернов ЭКоГ и ЭЭГ по следующей шкале: 0 — непрерывный паттерн (отсутствие эпох подавления сигнала и эпох снижения амплитуды активности более, чем в 2 раза); 1 — периодический паттерн по типу «вспышка-подавление» (чередование периодов активности с эпохами глубокой депрессии сигнала для ЭЭГ менее 10 мкВ, для ЭКоГ менее 20 мкВ длительностью более 0,5 с) [2].

Для оценки эффективности МК анализировали динамику двигательного дефицита (парезов и параличей) у пациентов обеих групп в раннем послеоперационном периоде относи-

Таблица 1
Характеристика обследованных групп (медиана (интерквартильная широта))

	Внутривенная анестезия пропофолом (n=37)	Ингаляционная анестезия севофлораном (n=26)
Мужчины/Женщины	15/22	12/14
Возраст, лет	48 (28–64)	56 (36–68)
Первичные внутримозговые опухоли/Метастазы/Кавернозные мальформации	29/3/8	18/2/6
Максимальный размер патологического образования по данным МРТ, мм	34,5 (22,5–41,5)	28,0 (21,5–39,0)
Функциональный статус по шкале Karnofsky (баллы): при поступлении	70 (60–90)	70 (60–80)
через 10 сут. после операции	70 (60–90)	70 (60–80)
Выраженность двигательных нарушений (баллы): при поступлении	4,5 (3,4–5,0)	4,4 (3,8–5,0)
через 10 сут. после операции	4,8 (3,5–5)	4,7 (3,5–5,0)

Таблица 2
Влияние вида анестезии на пороговую силу тока прямой стимуляции коры при выполнении интраоперационного моторного картирования

Общий анестетик	Паттерн ЭКоГ	Кол-во наблюдений	Пороговая сила тока, мА	Коэффициент корреляции «доза-сила тока»
Пропофол	Непрерывный	22	11,9±2,3*#	0,21
	Периодический	28	16,0±2,7*	0,81
Севофлоран	Непрерывный	18	23,1±2,1#	0,42
	Периодический	19	26,8±2,4	0,44

Примечание: * — различия между параметром «пороговая сила тока», регистрируемым при разном виде анестезии при аналогичном паттерне ЭКоГ, имеют высокую достоверность ($p < 0,001$, $t > 20$ для всех сравниваемых пар); # — различия между параметром «пороговая сила тока», регистрируемым при одном виде анестезии при разных паттернах ЭКоГ, имеют высокую достоверность ($p < 0,001$, $t > 9$ для всех сравниваемых пар).

тельно дооперационного уровня. Сила активных движений в конечностях оценивалась по общепринятой шестибалльной шкале (0 баллов — плегия; 5 баллов — полная мышечная сила). В анализ была включена выраженность моторного дефицита при поступлении и в раннем послеоперационном периодах.

Всем пациентам до оперативного вмешательства и в первые 48 часов после него выполнялась МРТ головного мозга с контрастным усилением.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием методов вариационной статистики. Данные представлены в формате $\bar{X} \pm \sigma$ (среднее ± стандартное отклонение). Достоверность различий оценивали с помощью t -критерия Стьюдента для несвязанных парных выборок. Для оценки уровня сопряжения исследуемых параметров использован метод корреляционного анализа по Пирсону. Полученные данные были обработаны с помощью программной системы STATISTICA 64.

Результаты

Эффективность интраоперационного картирования моторной коры в обеих исследуемых группах была одинаково высокой. Об этом убедительно свидетельствует отсутствие случаев с грубым двигательным дефицитом в послеоперационном периоде (табл. 1).

Исходя из цели исследования, выполнялся анализ параметров электрической возбудимости моторной коры при разных видах анестезии: ингаляционный наркоз севофлораном и внутривенный наркоз пропофолом. Оцениваемым параметром была пороговая сила тока, способная вызвать моторный ответ в мышцах-мишенях при прямой стимуляции коры. Считается, что картирование моторных зон следует стремиться выполнять при оптимальном уровне возбудимости нейронных констелляций, который позволяет минимизировать риск ложнопозитивных ответов: отсутствие вызванного М-ответа при стимуляции коркового представительства мышцы-мишени. Нейрофизиологическим критерием, позволяющим косвенно определить оптимальный уровень анестезии, при котором не происходит существенного снижения возбудимости коры,

является регистрация непрерывного паттерна на ЭКоГ и, следовательно на ЭЭГ, поскольку подавление активности на коре регистрируется при гораздо меньших дозах, чем на скальповой ЭЭГ [2]. Фактором, определявшим вероятность формирования периодических паттернов, является индивидуальная чувствительность пациентов к действию общих анестетиков. При одном и том же уровне анестезии у одних больных регистрируется непрерывная активность, у других — периодическая. При регистрации периодического паттерна по типу «вспышка-подавление» на ЭКоГ и, тем более, на ЭЭГ происходит существенное повышение пороговой силы тока. Тем не менее, в ряде случаев исходя из индивидуальной фармакорезистентности пациента, особенностей анестезиологического обеспечения, складывающихся в ходе конкретной операции, выполнение МК может вынужденно проводиться при таком уровне общей анестезии, который связан с подавлением биоэлектрической активности до периодического паттерна. Исходя из приведенных оснований, параметры пороговой сила тока при выполнении МК анализировались отдельно для двух состояний: при непрерывной активности и при периодическом паттерне на ЭКоГ. Все включенные в исследование оперативные вмешательства с проведением МК выполнялись при уровне анестезии, который не сопровождался регистрацией периодических паттернов на скальповой ЭЭГ. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Пороговая сила тока стимуляции моторной коры при выполнении МК на фоне ингаляционного наркоза севофлораном значительно выше, чем при внутривенной анестезии пропофолом. Как для пропофола, так и для севофлорана отмечалось существенное увеличение пороговой силы тока при углублении анестезии до уровня, при котором на ЭКоГ регистрировался периодический паттерн по типу «вспышка-подавление». Тем не менее пороговая сила тока при общей анестезии севофлораном оставалась выше, чем при внутривенной анестезии пропофолом.

Для оценки дозовой зависимости пороговой силы тока от глубины общей анестезии был выполнен корреляционный анализ по Пирсону. Расчет коэффициентов корреляции (r) осуществлялся отдельно для двух диапазонов доз: при непрерывном паттерне ЭКоГ и при формировании паттерна по типу «вспышка-подавление». Для исследованных анестетиков наблюдалась разная динамика зависимости «доза-эффект» (рис. 1).

При общей анестезии севофлораном как на фоне непрерывной активности на ЭКоГ, так и при глубине наркоза, приводящей к подавлению биоэлектрической активности коры до периодического паттерна по типу «вспышка-подавление», наблюдалась умеренная положительная связь между пороговой силой тока и дозой общего анестетика. Для обоих диапазонов доз коэффициент корреляции Пирсона был близок: 0,42 и 0,44 соответственно. Принципиально иной характер дозовой зависимости был установлен в обследованной когорте при общей анестезии пропофолом. Для диапазона доз, при котором на ЭКоГ сохраняется непрерывная активность, коэффициент корреляции соответствовал слабой положительной связи между дозой анестетика и пороговой силой тока ($r = 0,21$). В диапазоне доз, при которых на ЭКоГ регистрировался периодический паттерн, коэффициент корреляции отражал сильную положительную корреляционную связь пороговой силы тока

и дозы анестетика: $r=0.81$. В этом диапазоне доз происходило существенное повышение пороговой силы тока до 18–20 мА.

Обсуждение

Вопрос об эффективности МК при общей анестезии ингаляционными анестетиками остается предметом дискуссии [6, 7, 10, 11, 13]. Тем не менее, в нейрохирургии доля операций, выполняемых с использованием для общей анестезии севофлурана, достаточно высока, поскольку ингаляционный наркоз имеет в определенных ситуациях свои преимущества [6]. Полученные результаты в обследованной когорте позволяют считать, что применение ингаляционной анестезии не снижает диагностическую эффективность интраоперационного МК. По сравнению с внутривенной анестезией пропофолом использование севофлурана требует существенного увеличения силы тока для прямой стимуляции коры. Если при использовании пропофола пороговая сила тока редко превышает 15 мА, то при наркозе севофлуораном требуется субмаксимальная стимуляция интенсивностью 20–25–30 мА.

Относительно высокие пороги электростимуляции при наркозе севофлуораном, скорее всего, обусловлены ведущим механизмом его действия как «неэлектролита»: мембранстабилизирующий эффект, приводящий к депривации механизмов генерации и проведения нервного импульса. В результате действия севофлурана происходит не только снижение возбудимости нейронов моторной коры, но и снижение проводимости в системе «корковый нейрон — кортикоспинальный тракт — альфа-мотонейрон — периферический нерв — мышечное волокно». Так, например, при интраоперационном картировании спинномозговых корешков и нервов сила тока прямой нейростимуляции при наркозе севофлуораном значительно выше, чем при наркозе пропофолом [1].

Выявленные различия в уровне возбудимости корковых нейронов при разных видах анестезии не могут быть объяснены разницей в уровне седации или степени нарушения нервно-мышечной проводимости. В обеих группах показатель ТОФ при выполнении картирования контролировался на уровне выше 65%. Доля больных с уровнем подавления биоэлектрической активности до периодического паттерна по типу «вспышка-подавление» была сопоставима: 28 случаев из 50 при внутривенной анестезии пропофолом, 19 из 37 — при общей анестезии севофлуораном. Выраженное подавление активности на ЭКоГ свидетельствует о глубокой степени седации. В диапазонах доз, вызывающих глубокое угнетение ЦНС, пороговая сила тока при общей анестезии пропофолом была в 1,5–1,7 раза выше, чем при ингаляционном наркозе.

При наркозе севофлуораном пороговая сила тока для выполнения МК демонстрирует стабильную дозовую зависимость. Увеличение дозы севофлурана до значений, приводящих к глубокому подавлению спонтанной биоэлектрической активности до паттерна по типу «вспышка-подавление», не сопровождается резким снижением возбудимости и проводимости в нервной системе. В отличие от севофлурана, для которого была характерна равномерная дозовая зависимость пороговой силы тока, общая анестезия пропофолом сопровождается фазным изменением возбудимости. При дозах пропофола, не приводящих к угнетению спонтанной корковой активности, величина пороговой силы тока практически не зависит от дозы анестетика.

Незначительные колебания возбудимости корковых нейронов, очевидно, определяются другими факторами, контроль за которыми может стать темой самостоятельного исследования. При углублении общей анестезии пропофолом до формирования на ЭКоГ паттерна по типу «вспышка-подавление» происходит лавинообразное увеличение порога стимуляции, которое отражает практически прямую зависимость «доза-эффект» ($r=0,81$). Логично предположить, что изменение характера корреляционной связи отражает общую фармакологическую закономерность: расширение «структур-мишеней» при увеличении дозы ксенобиотика. По одному из своих основных механизмов действия пропофол является ГАМК-агонистом, но также обладает способностью к ингибированию Na-каналов. Вероятно, при увеличении дозы происходит существенное снижение возбудимости и проводимости в результате синергизма обоих механизмов, свойственных пропофолу. Аналогичной закономерностью можно объяснить и смену паттернов ЭКоГ при увеличении дозы пропофола. При средних дозах пропофола наблюдается типичная для ГАМК-агонистов «диссоциация» между состоянием выключения сознания (наркоз) и генерацией непрерывной, как правило, ритмизированной активности с большой долей волн альфа и бета диапазона частот [3]. При увеличении дозы пропофола регистрируется угнетение биоэлектрической активности до паттерна по типу «вспышка-подавление» [2].

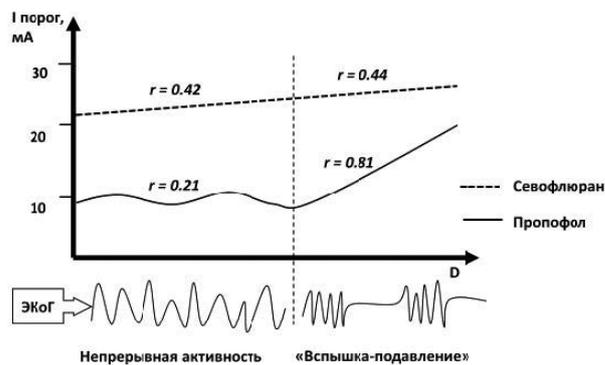


Рисунок 1. Зависимость пороговой силы тока ($I_{\text{порог}}$) при интраоперационном картировании моторной коры и дозы (D) общего анестетика: результаты корреляционного анализа (схема)

Увеличение силы тока при выполнении МК может привести к ложноположительным ответам, поскольку происходит стимуляция более широкой зоны коры. В результате зона «физиологической дозволенности» при удалении опухоли моторной зоны мозга может быть чрезмерно сокращена. В этой связи для контроля возбудимости корковых нейронов должна выполняться ЭКоГ, поскольку паттерн по типу «вспышка-подавление» на коре регистрируется при значительно меньших дозах, чем на скальповой ЭЭГ [2].

Выводы

1. При планировании и выполнении интраоперационного моторного картирования необходимо учитывать особенности действия общего анестетика на возбудимость и проводимость в системе «нейроны коры–кортиспинальный тракт–мотонейроны–периферические нервы».

- Ингаляционная анестезия севофлюраном сопровождается значительно большим увеличением пороговой силы тока прямой стимуляции моторной коры, чем внутривенная анестезия пропофолом.
- В дозах, вызывающих подавление спонтанной биоэлектрической активности коры, внутривенный анестетик пропофол вызывает резкое снижение возбудимости моторной коры при прямой электрической стимуляции. Для ингаляционной анестезии севофлюраном характерно равномерное дозозависимое увеличение пороговой силы тока.
- Косвенную оценку возбудимости нейронов коры при моторном картировании следует выполнять по параметрам электрокортикографии, поскольку периодическая активность по типу паттерна «вспышка-подавление» на ЭЭГ регистрируется при значительно больших дозах общего анестетика, чем аналогичные изменения на ЭКОГ.

Список литературы:

- Александров М. В., Улитин А. Ю., Хачатрян В. А., Сысоев К. В. Нейрофизиологический мониторинг в спинальной нейрохирургии: пути повышения эффективности // *Матер. научно-практич. конф. «Инновации и мультидисциплинарный подход в спинальной нейрохирургии»*. — СПб, 2014. — С. 7–8.
- Александров М. В., Костенко И. А., Архипова Н. Б. и др. Подавление биоэлектрической активности головного мозга при общей анестезии: зависимость «доза-эффект» // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. — 2018. — № 4 (64). — С. 79–85.
- Александров М. В., Чикуров А. А., Топоркова О. А. и др. Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг в нейрохирургии // *Под ред. М. В. Александрова*. — СПб: Спецлит, 2019. — С. 159.
- Зуев А. А., Коротченко Е. Н., Иванова Д. С., Педяш Н. В., Теплых Б. А. Хирургическое лечение опухолей функционально значимых зон головного мозга с применением метода нейрофизиологического картирования речевых, моторных зон и проводящих путей // *«Вопросы нейрохирургии» им. Н. Н. Бурденко*. — 2017. — № 1. — С. 39–50.
- Куликов А. С., Степаненко А. Ю., Лубнин А. Ю. — Хирургия эпилепсии — что требуется от анестезиолога? // *Анестезиология и реаниматология*. — 2011. — № 4. — С. 4–10.
- Мошнев Д. А., Лубнин А. Ю. Применение севофлурана в нейроанестезиологии // *Анестезиология и реаниматология*. — 2006. — № 2. — С. 2–8.
- Мошнев Д. А., Сазонова О. Б., Огурцова А. А., Лубнин А. Ю. Влияние севофлурана на спонтанную биоэлектрическую активность мозга у нейрохирургических больных // *Анестезиология и реаниматология*. — 2008. — № 2. — С. 11–16.
- Adhikary, S. D., Thiruvengatarajan, V., Babu, K. S., & Tharyan, P. The effects of anaesthetic agents on cortical mapping during neurosurgical procedures involving eloquent areas of the brain // *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2011. Режим доступа: doi:10.1002/14651858.cd006679.pub2
- Bithal, P. Anaesthetic considerations for evoked potentials monitoring // *Journal of Neuroanaesthesiology and Critical Care*. — 2014. — Vol. 01. — P. 2–12. doi:10.4103/2348-0548.124832
- Simon M. V. Intraoperative neurophysiologic sensorimotor mapping and monitoring in supratentorial surgery / M. V. Simon. // *J Clin Neurophysiol*. — 2013. — Vol. 30. — № 6. — P. 571–590.
- Sloan T. B., Vantti V. Anesthesia and physiology and intraoperative neurophysiological monitoring of evoked potentials // *Intraoperative monitoring of neural function. Handbook of clinical neurophysiology* / Ed. by M. R. Nuwer — New York: Elsevier, 2008. — P. 94–126.
- Tamura M., Muragaki Y., Saito T., et al. Strategy of surgical resection for glioma based on intraoperative functional mapping and monitoring // *Neural Med Chir (Tokyo)*. — 2015. — Vol. 55. — № 5. — P. 383–398.
- Wang, S. G., Eskandar, E. N., Kilbride, R., Chiappa, K. H., Curry, W. T., Williams, Z., & Simon, M. V. (2011). The Variability of Stimulus Thresholds in Electrophysiologic Cortical Language Mapping // *Journal of Clinical Neurophysiology*. — 2011. — N 2, Vol. 28. — P. 210–216. doi:10.1097/wnp.0b013e3182121827

Для цитирования: Александров М. В., Костенко И. А., Топоркова О. А., Назаров Р. В., Тастанбеков М. М., Черный В. С. Интраоперационное моторное картирование: влияние общих анестетиков на возбудимость коры. *Медицинский алфавит*. 2020; (32):34–38. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-32-34-38>

For citation: Aleksandrov M. V., Kostenko I. A., Toporkova O. A., Nazarov R. V., Tastanbekov M. M., Chernyj V. S. Intraoperative neurophysiological mapping: the effect of general anaesthetic impact on brain cortex affectability. *Medical alphabet*. 2020; (32):34–38. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-32-34-38>



DOI: 10.33667/2078-5631-2020-32-38-43

Трифазные волны на электроэнцефалограмме у пациентов с энцефалопатией и их диагностическое значение. Обзор литературы

Е. А. Баранова, к. м. н., зав. отд. функциональной диагностики №2 ГАУЗ «Межрегиональный клинко-диагностический центр», Казань, Россия¹

М. В. Синкин, к. м. н., с. н. с., рук. группы клинической нейрофизиологии отделения неотложной нейрохирургии ГБУЗ «НИИ скорой помощи имени Н. В. Склифосовского ДЗМ г. Москвы», Москва, Россия²

¹ГАУЗ «Межрегиональный клинко-диагностический центр», Казань, Россия

²ГБУЗ «НИИ скорой помощи имени Н. В. Склифосовского ДЗМ г. Москвы», Москва, Россия

Triphasic waves on electroencephalogram in patients with encephalopathy and their diagnosis significance. A review

E. A. Baranova, M. V. Sinkin

¹State Autonomous Institution of Health "Interregional clinical diagnostic center", Kazan, Russia

²N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow, Russia

Резюме

Классическое определение, данное H. Luders, называет трифазные волны (ТВ) «генерализованным паттерном 1–2 Гц, состоящим из приблизительно одинаковых графоэлементов, представленных высокоамплитудной (>70 мкВ) позитивной волной, окруженной двумя низкоамплитудными колебаниями отрицательной полярности». ТВ традиционно связывали с печеночной энцефалопатией, однако, они были описаны при метаболических, токсических, структурных повреждениях мозга, а также при бессудорожном эпилептическом статусе (БЭСЭС).

Summary

Triphasic waves are high-amplitude (>70 μV) positive sharp transients preceded and followed by relatively low-amplitude negative waves. The distribution is generalized and tends to have a repetition rate of approximately 1 to 2 Hz. This EEG-pattern is traditionally associated with hepatic encephalopathy, although they have been observed in a wide array of neurological disorders including subcortical white-matter disease, infections, metabolic disturbances and nonconvulsive status epilepticus.