ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИСХОДА КЛИПИРОВАНИЯ ИНТРАКРАНИАЛЬНЫХ АРТЕРИАЛЬНЫХ АНЕВРИЗМ ПО ДАННЫМ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Н.А. Бобряков¹, С.И. Петров^{1, 2}, Э.В. Середа^{1, 2}, А.Г. Москалев¹, А.А. Пономарев¹, И.Ю. Казанков¹, К.П. Максимов¹

¹ГБУЗ «Иркутская ордена "Знак Почета" областная клиническая больница»; Россия, 664049 Иркутск, мкрн Юбилейный, 100; ²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; Россия, 664049 Иркутск, мкрн Юбилейный, 100

Контакты: Николай Алексеевич Бобряков irkutsk102013@gmail.com

Цель исследования— выявление факторов, позволяющих прогнозировать развитие и/или нарастание неврологического дефицита (НД) в послеоперационном периоде в случае преходящих критических изменений параметров (КИП) при регистрации транскраниальных моторных (ТКМВП) и соматосенсорных (ССВП) вызванных потенциалов во время клипирования интракраниальных артериальных аневризм.

Материалы и методы. В исследование включено 184 пациента, прооперированных по поводу интракраниальных артериальных аневризм с применением интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в нейрохирургическом отделении Иркутской областной клинической больницы в 2014—2019 гг. В остром периоде прооперировано 67 (36,4%) пациентов, в подостром периоде — 40 (21,7%), в холодном периоде — 77 (41,8%), из них у 7 пациентов в анамнезе был разрыв аневризмы, у 70 пациентов разрыва не было. У 81 (44,0%) пациента регистрировали ССВП, у 75 (40,8%) — ТКМВП, у 28 (15,2%) — последовательно ССВП и ТКМВП.

Результаты. КИП ТКМВП отмечено в 27 (14,7%) случаев, из них в 15 (55,6%) — без нарастания НД, а в 12 (44,4%) — с нарастанием НД на 5,17 \pm 4,63 балла по NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale). КИП ССВП наблюдалось в 20 (10,9%) случаях, из них в 13 (65%) — без нарастания НД, а в 7 (35%) — с нарастанием НД на 5,14 \pm 4,91 балла по NIHSS. КИП ТКМВП с последующим нарастанием НД статистически значимо чаще происходило при операциях, проведенных в холодном периоде (8 66,7% случаев), чем в остром (25,0%) и подостром (8,3%). КИП ТКМВП без нарастания НД чаще наблюдалось в остром (46,7%) и подостром (33,3%) периодах, чем в холодном периоде (20,0%) (p = 0,044). Преходящие КИП ТКМВП, возникшие в момент выделения аневризмы, статистически значимо чаще (36,4%) ассоциировались с нарастанием НД, а развившиеся в течение 10 мин после окончательного клипирования при своевременно принятых мерах статистически значимо чаще (66,7%) ассоциировались с благоприятным исходом.

Выводы. Преходящие КИП ТКМВП более значимы в прогнозировании послеоперационного преходящего или перманентного НД в случае клипирования интракраниальных артериальных аневризм в холодном периоде. Преходящие КИП ТКМВП, развившиеся на этапе арахноидальной диссекции и выделения аневризмы, статистически значимо чаще ассоциированы с нарастанием НД.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, транскраниальные моторные вызванные потенциалы, соматосенсорные вызванные потенциалы, аневризма, клипирование

Для цитирования: Бобряков Н.А., Петров С.И., Середа Э.В. и др. Прогнозирование исхода клипирования интракраниальных артериальных аневризм по данным интраоперационного нейрофизиологического мониторинга. Нейрохирургия 2020;22(4):43—52.

DOI: 10.17650/1683-3295-2020-22-4-43-52



Prognosis of outcomes of intracranial arterial aneurysm clipping using intraoperative neurophysiological monitoring data

N.A. Bobryakov¹, S.I. Petrov^{1, 2}, E.V. Sereda^{1, 2}, A.G. Moskalev¹, A.A. Ponomarev¹, I. Yu. Kazankov¹, K.P. Maksimov¹

¹Irkutsk Regional Clinical Hospital with the Order of the Badge of Honor; 100 Yubileyny Dst., Irkutsk 664049, Russia; ²Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of Russia; 100 Yubileyny Dst., Irkutsk 664049, Russia

The study objective is researching of neurological deficit (ND) increasing risk factors in early postoperative period after intracranial arterial aneurysms clipping, in the cases of a transient loss of responses (TLR) during transcranial motor evoked potentials (TcMEP) and somatosensory evoked potentials (SSEP) registration.

Materials and methods. One hundred and eighty-four (184) patients, operated in the neurosurgical department of IRCH by intracranial arterial aneurysms from 2014 to 2019 using intraoperative neurophysiological monitoring were included. In the acute period, 67 (36.4 %) patients were operated, in the subacute period -40 (21.7 %), in the cold period -77 (41.8 %), of which 7 patients have a history of aneurysm rupture, 70 patients have no break. Eighty-one (44.0 %) patients registered SSEP, 75 (40.8 %) - TcMEP, 28 (15.2 %) - successively SSEP and TcMEP.

Results. MEP TLR was noted in 27 (14.7 %) cases, of which in 15 (55.6 %) cases — without an increase in ND, and in 12 (44.4 %) cases — with an increase in ND by 5.17 ± 4.63 points according to NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale), SSEP TLR was noted in 20 (10.9 %) cases, of which in 13 (65 %) cases — without an increase in ND, and in 7 (35 %) cases — with an increase in ND by 5.14 ± 4.91 points according to NIHSS. MEP TLR with the subsequent ND increase significantly more often developed during operations performed in cold period (66.7 %) vs in acute period (25.0 %), and in subacute period (8.3 %). MEP TLR without ND increase was more often observed in acute period (46.7 %) and subacute period (33.3 %) vs in cold period (20.0 %) (p = 0.044). Transient MEP TLR during approach to an aneurysm were significantly more often (36.4 %) associated with ND increase, and MEP TLR which developed within 10 min after the final clipping, with timely correction taken were significantly more often (66.7 %) associated with a favorable outcome.

Conclusion. Transient MEP TLR is more significant in predicting of postoperative ND, in the case of clip intracranial arterial aneurysms in cold period. MEP TLR during approach to an aneurysm more often associated with ND increasing.

Key words: intraoperative neurophysiological monitoring, transcranial motor evoked potentials, somatosensory evoked potentials, intracranial arterial aneurysm, clipping

For citation: Bobryakov N.A., Petrov S.I., Sereda E.V. et al. Prognosis of outcomes of intracranial arterial aneurysm clipping using intraoperative neurophysiological monitoring data. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2020;22(4):43–52. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Клипирование интракраниальных артериальных аневризм (ИАА) сопряжено с риском развития серьезных интраоперационных осложнений. Несмотря на достижения современной нейрохирургии, послеоперационная летальность в среднем составляет 11%, частота неблагоприятного исхода -14,1% [1].

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ), наряду с ультразвуковыми и флуоресцентными методами контроля кровотока, в хирургии ИАА помогает прогнозировать и предотвращать развитие нового и нарастание имевшегося до операции неврологического дефицита (НД), обусловленного как ишемическими интраоперационными осложнениями (такими, как повреждение перфорирующих артерий, стенозирование клипсой просвета несущей аневризму артерии, клипирование несущей артерии и ее ветвей, в том числе и длительное временное клипирование, тромбоз и атероматозная эмболия несущей артерии, ангиоспазм), так и манипуляционными интраоперационными осложнениями (такими, как тракционная травма мозга и повреждение черепных нервов) [2-4].

Зависимость параметров электроэнцефалографии, соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) и транскраниальных моторных вызванных потенциалов (ТКМВП) от состояния регионарной церебральной перфузии в вовлеченном бассейне достаточно хорошо изучена (табл. 1).

Теоретически восстановление амплитуды и латентности ТКМВП и ССВП до исходных значений к концу операции должно свидетельствовать о нормализации функциональной активности нейронов (вследствие восстановления мозгового кровотока), устранении ишемии и благоприятном прогнозе. Однако, по на-

шим данным, опубликованным ранее [5], преходящие критические изменения параметров (КИП) ассоциированы с развитием в послеоперационном периоде преходящего легкого НД (17,6 % в случае ТКМВП, 11,1 % в случае ССВП) и перманентного умеренного НД (35,3 % в случае ТКМВП, 28,7 % в случае ССВП). По данным научной литературы, прогностическая ценность преходящей потери ТКМВП в отношении НД составила 31 % [4], а преходящая полная потеря ССВП прогностически даже более неблагоприятна (отношение шансов 7,55), чем критическое снижение амплитуды и увеличение латентности на момент окончания операции (отношение шансов 5,63) [6].

На сегодняшний день до конца не изучены факторы риска развития НД в послеоперационном периоде в случае преходящих КИП ТКМВП и ССВП. Показано, что фактором неблагоприятного прогноза может быть скорость развития КИП: быстро прогрессирующие КИП с большей долей вероятности являются симптомом инфаркта мозга, чем прогрессирующие постепенно [7]. Однако скорость прогрессирования КИП скорее позволяет дифференцировать изменения, обусловленные манипуляциями нейрохирурга, и изменения, возникающие под влиянием других факторов (изменений глубины наркоза, температуры тела, гемодилюции и др.).

Цель исследования — выявление факторов, позволяющих прогнозировать развитие и/или нарастание НД в послеоперационном периоде в случае преходящих КИП при регистрации ТКМВП и ССВП во время клипирования ИАА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2014—2019 гг. в нейрохирургическом отделении Иркутской областной клинической больницы проведено

Таблица 1. Зависимость показателей разных нейрофизиологических методов от скорости мозгового кровотока (по данным [7—9] с изменениями) Table 1. Dependence of different neurophysiological measurements on cerebral blood flow velocity (according to [7—9] with modifications)

		B					
Данные исследования транскраниальных моторных вызванных потенциалов рата от transcranial motor evoked potentials	Исходные показатели Baseline values	Уменьшение амплитуды М-ответа менее чем на 50 % Decrease of M-response amplitude by up to 50 %	Уменьшение амплитуды М-ответа более чем на 50 % Decrease of M-response amplitude by more than 50 %		Потеря огвета Loss of response		Потеря ответа Loss of response
Данные исследования соматосенсорных вызванных потенциалов при стимуляции срединного нерва Data on somatosensory evoked potentials after stimulation of the median nerve	Исходные показатели Baseline values	Уменьшение амплитуды компонента N30—P45 Decreased amplitudes of N30—P45 romponent	Уменьшение амплитуды компонента N19—P23 менее чем на 50 % Decrease of N19—P23 component amplitudes by up to 50 %	повреждение	Уменьшение амплитуды компонента N19—P23 более чем на 50 %, увеличение дифференцированной латентности N13—N20 на 1 мс или на 20 % Decrease of N19—P23 component amplitudes by more than 50 % increase in N13—N20 differential latency by 1 ms or 20 %		Потеря ответа Loss of response
Данные электроэнцефалографии Electroencephalography data	Исходные показатели Baseline values	Увеличение мошности спектра δ - и θ -волн менее чем на 50 %, уменьшение мошности спектра α - и β - волн менее чем на 50 % Increase of δ and θ wave spectral power by up to 50 %, decrease of α and β wave spectral power by up to 50 %.	Увеличение мощности спектра δ- и θ-волн более чем на 50 % Increase of δ and θ wave spectral power by more than 50 %	можностей и необратимое итs	Периодические паттерны Periodic patterns	1 образуется зона инфаркта	Vrherehue электрической активности (колебаний <10 мкВ)
Биохимические процессы Biochemical processes	Нормальный аэробный метаболизм Normal aerobic metabolism	Снижение синтеза белка, анаэробный метаболизм, выброс глутамата Decreased protein production, anaerobic metabolism, glutamate release	Энергетический дефицит, лактат-ацидоз, повышение содержания внутриктегочного калыция, нарушение синаптической передачи Епету deficit, lactate acidosis, increased intracellular calcium, abnormal synaptic transmission	Ищемический порог: в течение 2 ч может произойти истощение компенсаторных возможностей и необратимое повреждение Ischemic threshold: exhaustion of compensatory capabilities and irreversible damage can occur in 2 hours	Повреждение натриево- калиевых насосов, накопление воды в клетках Deterioration of sodium- potassium pumps, water accumulation in the cells	Некротический порог: через 6—8 мин произойдет необратимое повреждение клеток и образуется зона инфаркта Ne crotic threshold: irreversible cell damage occurs after 6—8 minutes and infarction zone forms	Аноксическая деполяри- зация, смерть клеток Anoxic depolarization, cell death
CKOPOCTE MOSTOBOTO KPOBOTOKA, MJ HA 100 г MOSTOBOÏ ТКАНИ В MUHYTY Cerebral blood flow velocity, ml per 100 g of brain tissue per minute	35–65	25–34	ı	2 ч может произойти исто препsatory capabilities and irre	12–17	Некрогический порог: через 6—8 мин произойдет необратимое повреждение кл Necrotic threshold: irreversible cell damage occurs after 6—8 minutes and infarction zone forms	0—11
Crparuфu- kalus pucka Risk stratification	I	Уровень индивидуальной вариа- бельности Individual variability	Управляемый риск Manageable risk	порог: в течение d: exhaustion of cor	Опасность ишемичес- кого повре- ждения Danger of ischemic damage	й порог: через 6— d: irreversible cell da	Опасность ишемичес- кого повре- ждения Danger of ische- mic damage
Изменения Changes	Orcyтствуют (норма) Absent (normal)	Heyrpo- жающие Non- threatening	Значимые Significant	Ишемический Ischemic threshold	Выраженные Pronounced	Некротический Necrotic threshold	Грубые Gross

клипирование аневризм с применением ИОНМ у 184 пациентов (115 женщин и 69 мужчин). Средний возраст пациентов составил $51,5\pm10,0$ года. Аневризмы внутренней сонной артерии выявлены в 48 (26,1 %) случаях, средней мозговой артерии — в 75 (40,8 %), комплекса передней мозговой и передней соединительной артерий — в 38 (20,7 %), задней нижней мозжечковой артерии — в 2 (1,1 %), аневризмы множественной локализации — в 21 (11,4 %). В остром периоде прооперировано 67 (36,4 %) пациентов, в подостром периоде — 40 (21,7 %), в холодном периоде — 77 (41,8 %), из них у 7 пациентов в анамнезе был разрыв аневризмы, у 70 разрыва не было. Временное клипирование несущей аневризму артерии выполнено у 67 (36,4 %).

Нейромониторинг проводили с помощью 4-канального аппарата Viking Quest (Nicolet Biomedical, США). У 81 (44,0 %) пациента регистрировали ССВП, у 75 (40,8 %) — ТКМВП, у 28 (15,2 %) — последовательно ССВП и ТКМВП.

При регистрации ССВП применяли следующие настройки: биполярная ритмическая стимуляция монофазными импульсами прямоугольной формы длительностью 0,2 мс, частотой 4,7 Гц, силой тока 30–35 мА; полоса пропускания фильтра 30–1500 Гц, эпоха анализа 50-100 мс (5-10 мс/дел), чувствительность усилителя 1-5 мкВ/дел. Во время клипирования аневризм внутренней сонной артерии и средней мозговой артерии регистрировали ССВП с контралатеральной верхней конечности (при стимуляции срединного нерва), регистрирующие электроды располагали в точках С3/4'-С4/3', во время клипирования аневризм комплекса передней мозговой и передней соединительной артерий регистрировали ССВП с нижних конечностей с 2 сторон (при стимуляции большеберцового нерва), регистрирующие электроды располагали в точках Pz-Fz международной системы «10-20». Выбор обусловлен соматотопическим представительством проекционных зон чувствительности верхней конечности на конвекситальной поверхности теменной доли, в зоне, которую питает средняя мозговая артерия, а нижней конечности — на медиальной поверхности, в зоне, которую питает передняя мозговая артерия.

При регистрации ТКМВП применяли следующие настройки: монополярная неритмическая анодная стимуляция пачками импульсов, длительность импульса 0,5—1,0 мс, количество импульсов в пачке 5—6, частота импульсов в пачке 250—500 Гц, сила тока от 65 до 98,8 мА; полоса пропускания фильтра 10—10 000 Гц, эпоха анализа 100 мс (10 мс/дел), чувствительность усилителя 50 мкВ/дел. Проводили биполярную регистрацию игольчатыми электродами длиной 10—20 мм, установленными в двигательные точки мышц руки (мышц возвышения большого пальца и возвышения мизинца, дельтовидной мышцы) и ноги (передней большеберцовой мышцы, икроножной мышцы, а также мышцы, отводящей большой палец стопы).

При регистрации ССВП изменения показателей считались критическими, если наблюдалась полная потеря или снижение амплитуды коркового ответа N19—P23 на 50 % и более или увеличение латентности вышеуказанных пиков на 10 % и более от исходных значений, зарегистрированных в момент выхода на базовый уровень глубины анестезии, соответствующий завершению трепанации черепа перед вскрытием твердой мозговой оболочки.

При регистрации ТКМВП изменения показателей считались критическими, если наблюдалась быстрая полная потеря или снижение амплитуды М-ответа на 50 % и более, не устраняемые путем увеличения силы стимула на 20 мА или, в случае исходного применения стимула максимальной силы, путем фасилитации.

Перманентными КИП считались вышеописанные изменения параметров, возникшие на любом этапе операции и сохраняющиеся к моменту ее завершения, преходящими — изменения, в случае которых значения параметров к концу операции восстанавливались до исходных или неугрожающих значений.

Уровень НД оценивали до операции, по истечении 1-х суток после операции и на момент выписки с помощью шкалы тяжести инсульта Национальных институтов здоровья США (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS). Под отсутствием НД подразумевали тождество оценок по NIHSS до и после операции или снижение оценки по сравнению со значением до операции. Преходящим НД считали повышение оценки по NIHSS в 1-е сутки после операции при условии ее снижения до исходных значений к моменту выписки. Под перманентным НД подразумевали повышение оценки по NIHSS в 1-е сутки после операции при условии отсутствия ее снижения к моменту выписки или недостаточного снижения (не до исходных значений). Отсроченный НД – неврологические нарушения, развивающиеся спустя более 24 ч после операции и сохраняющиеся на момент выписки. Эти нарушения связаны не с самими нейрохирургическими манипуляциями, а с наступлением поздней стадии ангиоспазма и декомпенсацией нарушений мозгового кровотока [10]. До операции средняя оценка по NIHSS составляла 1,62 ± 3,03 балла. Тяжесть состояния пациентов с разрывом ИАА по шкале Hunt-Hess соответствовала I степени у 51 (47,7 %) пациента, II степени — у 42 (39,3 %), III степени — у 14 (13,1 %), IV степени — у 1 (0,9 %). Выраженность субарахноидального кровоизлияния по шкале Fischer соответствовала I степени у 33 (30,8 %) пациентов, II степени – у 34 (31,8 %), III степени – у 24 (22,4%), IV степени — у 16 (15,0%).

Анестезиологическое пособие включало эндотрахеальный наркоз, внутривенную анестезию (пропофол/тиопентал натрия, фентанил в стандартных дозах) без использования ингаляционных анестетиков. При регистрации только ССВП использовали миорелаксанты на протяжении всей операции, при регистрации

ТКМВП миорелаксанты использовали только на этапе интубации трахеи. При развитии КИП ТКМВП и/или ССВП принимали меры по нейропротекции, включавшие орошение теплым физиологическим раствором, внутривенное болюсное введение цитиколина в дозе 2000 мг, повышение системного артериального давления, аппликацию папаверина в рану, изменение параметров искусственной вентиляции легких (увеличение содержания кислорода в дыхательной смеси, увеличение положительного давления в конце выдоха), при отсутствии эффекта увеличивали глубину анестезии до появления на электроэнцефалограмме паттерна «вспышка-подавление» или «вспышка-ослабление».

Статистическую обработку результатов проводили с помощью онлайн-калькуляторов веб-ресурса http://www.medsta-tistic.ru/и программы Microsoft Excel. Статистическую значимость различий оценивали с помощью критерия Манна—Уитни и критерия χ^2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные результаты сопоставления клинических данных с результатами ИОНМ представлены в табл. 2—4.

Преходящие КИП ТКМВП в общей сложности отмечались в 27 (14,7 %) случаях, в том числе в 12 (44,4 %) — без нарастания НД, в 12 (44,4 %) — с нарастанием НД на $5,17\pm4,63$ балла по NIHSS, из них в 8 случаях НД носил перманентный характер, в 4 случаях — преходящий, в 3 (11,1 %) наблюдался отсроченный НД.

Преходящие КИП ССВП в общей сложности зарегистрированы в 20 (10,9 %) случаях, в том числе

в 12 (65 %) — без нарастания НД, в 7 (35 %) — с нарастанием НД на $5,14 \pm 4,91$ балла по NIHSS, из них в 4 случаях НД носил перманентный характер, в 3 случаях — преходящий, в 1 случае — отсроченный.

Преходящие КИП ТКМВП с последующим нарастанием НД статистически значимо чаще развивались при проведении операции в холодном периоде (66,7 % случаев), чем в остром (25,0 %) и подостром (8,3 %). КИП ТКМВП без нарастания НД чаще наблюдались в остром периоде (46,7 %) и подостром периоде (33,3 %), чем в холодном (20,0 %) (p = 0,044). Для ССВП такой закономерности не выявлено (табл. 5). У пациентов с нарастанием НД КИП сохранялись несколько дольше, чем у пациентов без дефицита, причем как в случае ТКМВП (соответственно 17,08 \pm 4,84 и 9,81 \pm 4,59 мин), так и в случае ССВП (16,14 \pm 25,71 и 7,75 \pm 6,62 мин), однако эти различия оказались статистически незначимыми (p > 0,05).

Ранее мы выделили 4 этапа операции, в ходе которых возникают КИП ТКМВП и ССВП [5]. В настоящем исследовании на этапе арахноидальной диссекции и выделения аневризматического мешка КИП возникли в 16 (27,1 %) случаях, на этапе временного клипирования — в 15 (25,4 %), в течение 15 мин после постоянного клипирования — в 21 (35,6 %), на этапе ушивания твердой мозговой оболочки — в 3 (5,1 %). На нескольких этапах КИП наблюдались в 4 (6,8 %) случаях. Преходящие КИП ТКМВП на этапе арахноидальной диссекции статистически значимо чаще ассоциировались с нарастанием НД в раннем послеоперационном периоде, тогда как КИП, развившиеся

Таблица 2. Сопоставление изменений, регистрируемых в ходе интраоперационного исследования транскраниальных моторных вызванных потенциалов, и неврологического статуса пациентов в послеоперационном периоде

Table 2. Comparison of changes detected during intraoperative measurement of transcranial motor evoked potentials with patients' neurological status in the postoperative period

Результаты интраоперационного мониторинга	Число пациентов, абс. (%), в зависимости от исхода Number of patients, abs. (%) depending on the outcome						
Results of intraoperative monitoring	Нет НД No ND	Преходящий НД Transient ND	Перманентный НД Permanent ND	Отсроченный НД Delayed ND	Итого Total		
Без критических изменений параметров No critical changes in the parameters	46 (93,6)	1 (2,1)*	1 (2,1)*	1 (2,1)*	49 (100,0)		
Преходящие критические изменения параметров Transient critical changes in the parameters	12 (51,9)	4 (14,8)**	7 (25,9)***	2 (7,4)†	25 (100,0)		
Перманентные критические изменения параметров Permanent critical changes in the parameters	_	3 (42,9)††	4 (57,1)†††	-	7 (100,0)		

^{*}Нарастание НД на 1,0 балла. **Нарастание НД на 3,0 \pm 4,0 балла. ***Нарастание НД на 7,0 \pm 4,6 балла. †Нарастание НД на 7,0 балла. †Нарастание НД на 8,3 \pm 5,9 балла. Примечание. НД — неврологический дефицит.

^{*}ND increase by 1.0 points. **ND increase by 3.0 \pm 4.0 points. ***ND increase by 7.0 \pm 4.6 points. †ND increase by 7.0 points. †ND increase by 1.3 \pm 0.6 points. ††ND increase by 8.3 \pm 5.9 points. Note. ND — neurological deficit.

в течение 10 мин после постоянного клипирования, при своевременной адекватной коррекции положения клипсы чаще ассоциировались с благоприятным исходом (табл. 5). Такая же закономерность выявлена и для перманентных КИП ТКМВП (табл. 6).

При сравнении интраоперационной регистрации ССВП и ТКМВП как двух методов прогнозирования развития НД в послеоперационном периоде (мы приняли факт развития НД после преходящих КИП за истинно положительный результат, а отсутствие

Таблица 3. Сопоставление изменений, регистрируемых в ходе интраоперационного исследования соматосенсорных вызванных потенциалов, и неврологического статуса пациентов в послеоперационном периоде

Table 3. Comparison of changes detected during intraoperative measurement of somatosensory evoked potentials with patients' neurological status in the postoperative period

Результаты интраоперационного	Число пациентов, абс. (%), в зависимости от исхода Number of patients, abs. (%) depending on the outcome						
мониторинга Results of intraoperative monitoring	Heт HД No ND	Преходящий НД Transient ND	Перманентный НД Permanent ND	Отсроченный НД Delayed ND	Итого Total		
Без критических изменений параметров No critical changes in the parameters	48 (86,0)	4 (7,0)*	2 (3,5)**	3 (3,5)***	57 (100,0)		
Преходящие критические изменения параметров Transient critical changes in the parameters	12 (63,2)	3 (15,8)†	4 (21,1)††	-	19 (100,0)		
Перманентные критические изменения параметров Permanent critical changes in the parameters	-	2 (28,6)‡	5 (71,4)‡‡	-	7 (100,0)		

^{*}Нарастание НД на $1,3\pm0,5$ балла. **Нарастание НД на $5,0\pm5,7$ балла. ***Нарастание НД на $5,5\pm6,4$ балла. †Нарастание НД на 1,0 балла. ††Нарастание НД на $8,3\pm4,3$ балла. †Нарастание НД на $2,0\pm1,4$ балла. ††Нарастание НД на $9,2\pm5,0$ балла. У 1 пациента НД в сочетании с преходящими критическими изменениями транскраниальных моторных вызванных потенциалов.

Примечание. НД – неврологический дефицит.

* $\hat{N}D$ increase by 1.3 \pm 0.5 points. ** $\hat{N}D$ increase by 5.0 \pm 5.7 points. *** $\hat{N}D$ increase by 5.5 \pm 6.4 points. † $\hat{N}D$ increase by 1.0 points. † $\hat{N}D$ increase by 8.3 \pm 4.3 points. † $\hat{N}D$ increase by 2.0 \pm 1.4 points. † $\hat{N}D$ increase by 9.2 \pm 5.0 points. In 1 patient, $\hat{N}D$ with transient critical changes in transcranial motor evoked potentials.

Note. ND - neurological deficit.

Таблица 4. Сопоставление изменений, регистрируемых в ходе интраоперационного исследования транскраниальных моторных вызванных потенциалов и соматосенсорных вызванных потенциалов, и неврологического статуса пациентов в послеоперационном периоде

Table 4. Comparison of changes detected during intraoperative measurement of transcranial motor evoked potentials and somatosensory evoked potentials with patients' neurological status in the postoperative period

Результаты интраопераци-	Число пациентов, абс. (%), в зависимости от исхода Number of patients, abs. (%) depending on the outcome						
онного мониторинга Results of intraoperative monitoring	Нет НД No ND	Преходящий НД Transient ND	Перманент- ный НД Permanent ND	Отсроченный НД Delayed ND	Итого Total		
Без критических изменений параметров No critical changes in the parameters	15 (78,9)	-	3 (15,8)*	1 (5,3)**	19 (100,0)		
Преходящие критические изменения параметров Transient critical changes in the parameters	-	-	-	1 (100,0)***	1 (100,0)		
Перманентные критические изменения параметров Permanent critical changes in the parameters	-	-	-	-	-		

^{*}Нарастание НД на 9,0 ± 13,0 балла. **Нарастание НД на 1,0 балла. ***Нарастание НД на 4,0 балла. **Примечание.** НД — неврологический дефицит.

^{*}ND increase by 9.0 ± 13.0 points. **ND increase by 1.0 points. ***ND increase by 4.0 points. Note. ND-neurological deficit.

TOM 22 Volume 22

дефицита — за ложноположительный без учета случаев отсроченного НД) установлено, что регистрация ТКМВП как прогностический метод по сравнению с регистрацией ССВП характеризуется более высокой чувствительностью (соответственно 90 и 70 %), прогностической ценностью положительного (60 и 54 %) и отрицательного (96 и 89 %) результатов при практически одинаковой специфичности (79 и 80 %).

ОБСУЖДЕНИЕ

R.T. Wicks и соавт. проанализировали 691 случай хирургического лечения ИАА с проведением ИОНМ. Авторы оценили чувствительность и специфичность

выявления значимых изменений ССВП как метода прогноза послеоперационного инсульта и пришли к выводу, что этот метод более надежен в случае клипирования неразорвавшихся ИАА, что объясняется исходным изменением электрической проводимости, которое вызвано субарахноидальным кровоизлиянием и его последствиями. Перманентные изменения ССВП ассоциированы с нарастанием послеоперационного НД в 80 % случаев при клипировании неразорвавшихся ИАА (в холодном периоде) и в 42 % при клипировании разорвавшихся ИАА (в остром и подостром периодах), преходящие изменения ССВП ассоциированы с нарастанием послеоперационного НД в 20 % при клипиро-

Таблица 5. Характеристика основных факторов, предположительно, имеющих прогностическое значение в случае преходящих критических изменений параметров транскраниальных моторных и соматосенсорных вызванных потенциалов

Table 5. Main factors that supposedly can be considered prognostic in case of transient critical changes in transcranial motor and somatosensory evoked potentials

Фактор	ны транскраі вызванн Patients for wh	которых исследова- ниальные моторные ые потенциалы om transcranial motor ntials were measured	Пациенты, у которых исследованы соматосенсорные вызванные потенциалы Patients for whom somatosensory evoked potentials were measured		
Factor -	с невроло- гическим дефицитом with neuro- logical deficit	без неврологиче- ского дефицита without neurological deficit	с неврологиче- ским дефицитом with neurological deficit	без невро- логического дефицита without neurological deficit	
Продолжительность критических изменений параметров, мин Duration of critical changes in the parameters, min	$17,08 \pm 4,84$	9,81 ± 4,59	$16,14 \pm 25,71$	$7,75 \pm 6,62$	
Степень снижения амплитуды, % Level of amplitude decrease, %	84,08 ± 19,94	$84,38 \pm 13,82$	65.8 ± 15.9	$65,8 \pm 10,0$	
Продолжительность временного клипирования, с Duration of transient clipping, s	$173,2 \pm 137,2$	$205,0 \pm 197,8$	$322,8 \pm 296,5$	$432,4 \pm 220,8$	
Число пациентов, абс. (%), с разрывом интракраниальной артериальной аневризмы: Number of patients, abs. (%) with ruptured intracranial arterial aneurysm: на этапе временного клипирования during transient clipping на этапе постоянного клипирования during permanent clipping в холодный период in the cold period	3 (25,0)* 1 (8,3)* 8 (66,7)*	7 (46,7) 5 (33,3) 3 (20,0)	2 (28,6) 2 (28,6) 3 (42,9)	4 (30,8) 3 (23,1) 6 (46,2)	
Число пациентов, абс. (%), с возникновением критических изменений параметров: Number od patients, abs. (%) with critical parameter changes: на этапе арахноидальной диссекции during arachnoid dissection на этапе временного клипирования during transient clipping на этапе постоянного клипирования during permanent clipping на этапе ушивания твердой мозговой оболочки during dura suturing на нескольких этапах during several stages	4 (36,4)* 4 (36,4)* 3 (27,3)*	- 4 (26,7) 10 (66,7) - 1 (6,7)	2 (28,6) 3 (42,9) - 1 (14,3) 1 (14,3)	3 (23,1) 4 (30,8) 4 (30,8) 1 (7,7) 1 (7,7)	

^{*}Различия между группами пациентов с неврологическим дефицитом и без него статистически значимы (р <0,05).

^{*}Differences between the patient groups with neurological deficit and the patient group without neurological deficit are significant (p < 0.05)

Таблица 6. Частота развития неврологического дефицита в раннем послеоперационном периоде в зависимости от этапа операции, на котором возникло преходящее и перманентное критическое изменение параметров транскраниальных моторных вызванных потенциалов и соматосенсорных потенциалов, абс. (%)

Table 6. Frequency of neurological deficit in early postoperative period depending on the operative stage when transient and permanent critical changes in transcranial motor and somatosensory evoked potentials occured, abs. (%)

Этап операции	транскраниальні по Patients for whom	которых исследованы ые моторные вызванные тенциалы transcranial motor evoked is were measured	Пациенты, у которых исследованы соматосенсорные вызванные потенциалы Patients for whom somatosensory evoked potentials were measured		
Operative stage	с неврологиче- ским дефицитом with neurological deficit	без неврологического дефицита without neurological deficit	с неврологическим дефицитом with neurological deficit	без неврологического дефицита without neurological deficit	
Арахноидальная диссекция Arachnoid dissection	9 (47,4)*	-	4 (28,6)	3 (23,1)	
Временное клипирование Transient clipping	4 (21,1)*	4 (26,7)	4 (28,6)	4 (30,8)	
Постоянное клипирование Permanent clipping	5 (26,3)*	10 (66,7)	3 (21,4)	4 (30,8)	
Ушивание твердой мозговой оболочки Dura suturing	1 (5,3)*	-	1 (7,1)	1 (7,7)	
Несколько Several	_*	1 (6,7)	2 (14,3)	1 (7,7)	

stРазличия между группами пациентов с неврологическим дефицитом и без него статистически значимы (р <0,05).

вании неразорвавшихся ИАА и в 12 % при клипировании разорвавшихся ИАА [11]. В научной литературе мы не встретили такого рода данных, характеризующих регистрацию ТКМВП как прогностический метод. В нашем исследовании преходящие КИП ТКМВП с последующим нарастанием НД статистически значимо чаще развивались при проведении операции в холодном периоде (66,7 % случаев), чем в остром (25,0 %) и подостром (8,3 %), а КИП ТКМВП без нарастания НД чаще наблюдались в остром периоде (46,7 %), чем в подостром (33,3 %) и холодном (20,0 %) (p = 0.044). Отсутствие такой закономерности при регистрации ССВП объясняется, вероятно, относительно небольшим количеством наблюдений, вследствие чего различия между вышеуказанными группами не достигли статистической значимости.

Обобщая данные научной литературы и результаты наших исследований, можно сделать вывод о том, что поскольку данные ССВП и ТКМВП более надежны в прогнозировании послеоперационного НД в случае клипирования ИАА в холодном периоде, то ИОНМ необходимо проводить при клипировании как разорвавшихся, так и неразорвавшихся ИАА, не ограничиваясь в последнем случае только интраоперационным ультразвуковым контролем кровотока в церебральных артериях.

Преходящие КИП ТКМВП в момент выделения аневризматического мешка связаны, вероятнее всего,

с тракционной травмой мозга и/или развитием сегментарного ангиоспазма в ответ на манипуляции с несущей аневризму артерией, перманентные КИП ТКМВП – с повреждением перфорирующих артерий. В нашем исследовании преходящие КИП ТКМВП на этапе арахноидальной диссекции статистически значимо чаще ассоциировались с нарастанием НД в послеоперационном периоде, поэтому мы призываем хирургов пристально следить за степенью ретракции мозга во время осуществления доступа и по возможности дополнительно использовать системы контроля ретракционного давления [4]. При отсутствии такой возможности развитие КИП ТКМВП на этапе арахноидальной диссекции требует остановки операции и проведения комплекса описанных выше мероприятий по нейропротекции и профилактике ангиоспазма. Преходящие КИП ТКМВП, развившиеся в течение 15 мин после постоянного клипирования, связаны, как правило, со стенозированием или полной окклюзией клипсой просвета несущей аневризму артерии, клипированием ветвей несущей артерии, а также с развитием ангиоспазма. При своевременной адекватной коррекции положения клипсы и проведении мероприятий по нейропротекции они статистически значимо чаще ассоциировались с благоприятным исходом.

В нашем исследовании регистрация ТКМВП как прогностический метод отличалась от регистрации ССВП более высокой чувствительностью и прогностической

^{*}Differences between the patient groups with neurological deficit and the patient group without neurological deficit are significant (p < 0.05).

ценностью как положительного, так и отрицательного результата при практически одинаковой специфичности. Однако В. Staarmann и соавт. ранее уже установили, что ТКМВП в большей степени отражают активность проводящих путей и подкорковых структур, тогда как ССВП — активность коры головного мозга, поэтому эти две методики существенно дополняют друг друга [12]. В случае развития кортикальной ишемии регистрация ТКМВП может дать ложноотрицательный результат, если не дополнить это метод прямой стимуляцией коры с помощью пластинчатого электрода [13]. Поэтому при клипировании ИАА мы рекомендуем использовать обе модальности, но при прогнозировании исхода операции в большей степени опираться на ТКМВП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преходящие КИП ТКМВП более значимы в прогнозировании послеоперационного умеренного НД,

преходящего или перманентного, в случае клипирования ИАА в холодном периоде по сравнению с клипированием разорвавшихся аневризм в остром и подостром периодах кровоизлияния.

Преходящие КИП ТКМВП в момент выделения аневризматического мешка статистически значимо чаще ассоциировались с нарастанием НД в раннем послеоперационном периоде, тогда как КИП, развившиеся в течение 10 мин после постоянного клипирования, при своевременной адекватной коррекции положения клипсы, а также проведении комплекса мер по нейропротекции и поддержанию перфузии мозга, статистически значимо чаще ассоциировались с благоприятным исходом.

В отличие от ССВП, регистрация ТКМВП характеризуется более высокой чувствительностью и прогностической ценностью как положительного, так и отрицательного результата при равной специфичности.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 1. Элиава Ш.Ш., Шехтман О.Д., Табасаранский Т.Ф. и др. Хирургическое лечение аневризм головного мозга в остром периоде кровоизлияния. М.: Т.А. Алексеева, 2019. 232 с. [Eliava S.S., Shechtman O.D., Tabasaranskiy T.F. et al. Surgical treatment of brain aneurysms in the acute period of hemorrhage. Moscow: T.A. Alekseeva, 2019. 232 p. (In Russ.)].
- 2. Дубовой А.В., Овсянников К.С., Аул Ш.А. и др. Осложнения в хирургии аневризм церебральных артерий в зависимости от выбора метода операции. Российский нейрохирургический журнал 2014;6(спец. вып.):104. Доступно по: https://neuronsk.ru/medlibrary/ doctors-publications/Oslozhneniya v hirurgii anevrizm.pdf. [Oak A.V., Ovsyannikov K.S., Aul Sh.A. et al. Complications in surgery of cerebral artery aneurysms depending on the choice of the operation method. Rossiyskiy neyrokhirurgicheskiy zhurnal = Russian neurosurgical journal 2014;6(Special Issue):104. Available at: https://neuronsk. ru/medlibrary/doctors-publications/ Oslozhneniya v hirurgii anevrizm.pdf. (In Russ.)].
- 3. Хирургия аневризм головного мозга. Под ред. В.В. Крылова. В 3 т. Т. 1. М., 2011. 432 с. [Surgery of brain aneurysms. Ed. by V.V. Krylov. In 3 vol. Vol. 1. Moscow, 2011. 432 p. (In Russ.)].
- Loftus C.M., Biller J., Baron E.M. Intraoperative neuromonitoring. New York: McGraw-Hill, 2014. 586 p.
- Бобряков Н.А., Петров С.И., Середа Э.В. и др. Опыт применения интраоперационного нейрофизиологического мони-

- торинга (ИОНМ) в хирургии церебральных артериальных аневризм. Дневник казанской медицинской школы 2019;23(1):121—6. [Bobrjakov N.A., Petrov S.I., Sereda E.V. Experience of application of intraoperative neurophysiological monitoring (IOM) in surgery of cerebral arterial aneurysms. Dnevnik kazanskoy meditsinskoy shkoly = Kazan Medical School Diary 2019;23(1):121—6. (In Russ.)].
- Kashkoush A.I., Jankowitz B.T., Nguyen C. et al. Perioperative stroke after cerebral aneurysm clipping: risk factors and postoperative impact. J Clin Neurosci 2017;44(10):188–95.
 DOI: 10.1016/j.jocn.2017.06.030.
- 7. Александров М.В., Чикуров А.А., Топоркова О.А. и др. Нейрофизиологический интраоперационной мониторинг в нейрохирургии: руководство. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. 159 с. [Aleksandrov M.V., Chikurov A.A., Toporkova O.A. et al. Neurophysiological intraoperative monitoring in neurosurgery: guide. 2nd edn., revised and expanded. Saint Petersburg: SpetsLit, 2020. 159 p. (In Russ.)].
- 8. Гурская О.Е., Цыган В.Н. Электрофизиологический мониторинг центральной нервной системы. Санкт-Петербург: ОНФД, 2015. 149 с. [Gurskaya O.E., Tsygan V.N. Electrophysiological monitoring of the central nervous system. Saint Petersburg: ONFD, 2015. 149 р. (In Russ.)].
- Foreman B., Claassen J. Quantitative EEG for the detection of brain ischemia.

- Crit Care 2012;16(2):216. DOI: 10.1186/cc11230.
- 10. Крылов В.В., Калинкин А.А., Петриков С.С. Патогенез сосудистого спазма и ишемии головного мозга при нетравматическом субарахноидальном кровоизлиянии вследствие разрыва церебральных аневризм. Неврологический журнал 2014;19(5):4—12. [Krylov V.V., Kalinkin A.A., Petrikov S.S. The pathogenesis of cerebral angiospasm and brain ischemia in patients with non-traumatic subarachnoid hemorrhage due to cerebral aneurysm rupture. Nevrologicheskiy zhurnal = Neurological Journal 2014;19(5):4—12. (In Russ.)].
- Wicks R.T., Pradilla G., Raza S.M. et al. Impact of changes in intraoperative somatosensory evoked potentials on stroke rates after clipping of intracranial aneurysms. Neurosurgery 2012;70(5):1114–24.
 DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823f5cf7.
- Staarmann B., O'Neal K., Magner M., Zuccarello M. Sensitivity and specificity of intraoperative neuromonitoring for identifying safety and duration of temporary aneurysm clipping based on vascular territory, a multimodal strategy. World Neurosurg 2017;100:522–30.
 DOI: 10.1016/j.wneu.2017.01.009.
- Silverstein J.W., Rosenthal A., Ellis J.A. Direct cortical motor evoked potentials versus transcranial motor evoked potentials for the detection of cortical ischemia during supratentorial craniotomy: case report. Cureus 2018;10(12):e3771.
 DOI: 10.7759/cureus.3771.

Вклад авторов

- Н.А. Бобряков: разработка дизайна исследования, проведение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга, получение данных для анализа, анализ полученных данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи;
- С.И. Петров, А.Г. Москалев: проведение операций, курирование пациентов, выполнение инструментальных диагностических исследований, получение данных для анализа, анализ полученных данных, научное редактирование, научное консультирование;
- Э.В. Середа: проведение операций, курирование пациентов, выполнение инструментальных диагностических исследований, получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста статьи, научное редактирование, научное консультирование;
- А.А. Пономарев: проведение операций, ассистирование, выполнение инструментальных диагностических исследований, курирование пациентов, получение данных для анализа, анализ полученных данных;
- И.Ю. Казанков: разработка дизайна исследования, проведение операций, ассистирование, выполнение инструментальных диагностических исследований, курирование пациентов, получение данных для анализа, анализ полученных данных;
- К.П. Максимов: проведение операций, ассистирование, курирование пациентов, получение данных для анализа.

Authors' contributions

- N.A. Bobryakov: developing the research design, performing intraoperative neuromonitoring, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data, reviewing of publications on the article's theme, article writing;
- S.I. Petrov, A.G. Moskalev: performing operations, supervision of patients, instrumental diagnostics, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data, scientific editing, scientific advice;
- E.V. Sereda: performing operations, supervision of patients, instrumental diagnostics, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data, article writing, scientific editing, scientific advice;
- A.A. Ponomarev: performing operations, assisting in surgery, instrumental diagnostics, supervision of patients, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data;
- I.Yu. Kazankov: developing the research design, performing operations, assisting in surgery, instrumental diagnostics, supervision of patients, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data;
- K.P. Maksimov: performing operations, assisting in surgery, supervision of patients, obtaining data for analysis.

ORCID авторов / ORCID of authors

H.A. Бобряков / N.A. Bobryakov: https://orcid.org/0000-0003-3818-2957

С.И. Петров / S.I. Petrov: https://orcid.org/0000-0002-5132-5417

Э.В. Середа / E.V. Sereda: https://orcid.org/0000-0003-4288-4126

А.Г. Москалев / А.G. Moskalev: https://orcid.org/0000-0002-7360-8856

А.А. Пономарев / А.А. Ponomarev: https://orcid.org/0000-0003-0969-9244

И.Ю. Казанков / І.Yu. Kazankov: https://orcid.org/0000-0002-2502-7184

К.П. Максимов / К.Р. Maksimov: https://orcid.org/0000-0002-8170-2244

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Протокол исследования одобрен этическим комитетом ГБУЗ «Иркутская ордена "Знак Почета" областная клиническая больница» (протокол № 68 от 26.04.2016).

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of the Irkutsk Regional Clinical Hospital with the Order of the Badge of Honor (protocol No. 68 from 26.04.2016).

All patients gave written informed consent to participate in the study.