

Интраоперационное стимуляционное картирование сенсорных ветвей тройничного нерва с использованием безусловных рефлексов: серия клинических случаев

Для корреспонденции: Евгений Андреевич Левин, e_levin@meshalkin.ru

Поступила в редакцию 10 октября 2024 г.
Исправлена 1 ноября 2024 г. Принята к печати 12 ноября 2024 г.

Цитировать: Левин Е.А., Кильчуков М.Г., Глушаева А.А., Киселев Р.С.

Интраоперационное стимуляционное картирование сенсорных ветвей тройничного нерва с использованием безусловных рефлексов: серия клинических случаев. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2024;28(4):68-77. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2024-4-68-77>

Информированное согласие

Получено информированное согласие пациентов на публикацию и использование медицинских данных в научных целях.

Финансирование

Исследование проводилось при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-25-00322.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Е.А. Левин, <https://orcid.org/0000-0002-1338-5881>
М.Г. Кильчуков, <https://orcid.org/0000-0002-2395-7177>
А.А. Глушаева, <https://orcid.org/0009-0000-1145-3732>
Р.С. Киселев, <https://orcid.org/0000-0001-5110-8378>

© Левин Е.А., Кильчуков М.Г., Глушаева А.А., Киселев Р.С., 2024



Е.А. Левин, М.Г. Кильчуков, А.А. Глушаева, Р.С. Киселев

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Интраоперационное стимуляционное картирование позволяет определить положение нервов в операционном поле при затрудненной визуализации, а также идентифицировать визуализированные нервы, способствуя снижению риска послеоперационных ятрогенных осложнений. Картирование двигательных нервов широко применяется при нейрохирургических операциях, однако попытки интраоперационного картирования сенсорных нервов описаны лишь в единичных работах. Внедрение эффективного метода картирования сенсорных ветвей/порций тройничного нерва может снизить вероятность осложнений типа фациальных гипо- и гиперестезий при операциях в области задней черепной ямки.

Цель. Продемонстрировать использование безусловнорефлекторных моторных реакций для стимуляционного картирования сенсорных ветвей/порций тройничного нерва.

Методы. Проанализировали записи интраоперационного нейромониторинга трех пациентов с тригеминальной невралгией, у которых при проведении микроваскулярной декомпрессии выполняли стимуляционное картирование нервов. Использование расширенного до 40 мс временного окна регистрации миографических ответов позволило регистрировать не только коротколатентные прямые моторные ответы на стимуляцию двигательных нервов, но и длиннолатентные рефлекторные моторные ответы на стимуляцию сенсорной порции тройничного нерва.

Результаты. Показано, что безусловнорефлекторные реакции круговой мышцы глаза (стимуляция порции V1 тройничного нерва, мигательный рефлекс) и мышц языка (V3, тройнично-подъязычный рефлекс) успешно вызываются у пациентов в условиях тотальной внутривенной анестезии как при монополярной, так и при биполярной стимуляции. У одного больного получена также реакция круговой мышцы рта (V2, хоботковый рефлекс). Использованная методика позволила дифференцировать как моторный и сенсорный корешки тройничного нерва, так и разные его сенсорные порции друг от друга.

Заключение. Интраоперационное стимуляционное картирование сенсорных ветвей/порций тройничного нерва с помощью безусловнорефлекторных моторных реакций может выполняться с использованием оборудования и режима анестезии, применяемых при картировании двигательных нервов.

Ключевые слова: безусловный рефлекс; интраоперационное стимуляционное картирование; интраоперационный нейрофизиологический мониторинг; клинический случай; сенсорный нерв; тройничный нерв

Intraoperative stimulation mapping of sensory branches of the trigeminal nerve using unconditioned reflexes: a case series

Corresponding author: Evgeny A. Levin, e_levin@meshalkin.ru

Received 10 October 2024. Revised 1 November 2024. Accepted 12 November 2024.

How to cite: Levin E.A., Kilchukov M.G., Glushaeva A.A., Kiselev R.S. Intraoperative stimulation mapping of sensory branches of the trigeminal nerve using unconditioned reflexes: a case series. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2024;28(4):68-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2024-4-68-77>

Informed consent

The patients' informed consent to use the records for medical purposes is obtained.

Funding

The study was supported by the grant of Russian Science Foundation No. 23-25-00322.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

ORCID

E.A. Levin, <https://orcid.org/0000-0002-1338-5881>

M.G. Kilchukov, <https://orcid.org/0000-0002-2395-7177>

A.A. Glushaeva, <https://orcid.org/0009-0000-1145-3732>

R.S. Kiselev, <https://orcid.org/0000-0001-5110-8378>

© 2024 Levin et al.



Evgeny A. Levin, Martin G. Kilchukov, Aleksandra A. Glushaeva, Roman S. Kiselev

Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Introduction: Intraoperative stimulation mapping enables to determine the location of nerves in the surgical field when visualization is difficult, as well as to identify visualized nerves, thereby reducing the risk of postoperative iatrogenic complications. Motor nerve mapping is widely used in neurosurgical procedures but only a few attempts at intraoperative sensory nerve mapping have been reported to date. The introduction of an effective method for mapping the sensory branches/portions of the trigeminal nerve can reduce the risk of complications such as facial hypo- and hyperesthesia after operations in the posterior cranial fossa.

Objective: To demonstrate the possibility of using unconditioned reflex motor reactions for stimulation mapping of the sensory branches/portions of the trigeminal nerve.

Methods: Intraoperative neuromonitoring records were analyzed in three patients with trigeminal neuralgia who underwent nerve stimulation mapping during microvascular decompression. The using of an extended to 40 ms time window for recording myographic responses enabled to record both short-latency direct motor responses to stimulation of motor nerves and long-latency reflex motor responses to stimulation of the sensory branches of the trigeminal nerve.

Results: It was shown that unconditioned reflex reactions of the orbicularis oculi muscle (stimulation of the V1 portion of the trigeminal nerve, blink reflex) and tongue muscles (stimulation of V3, trigemino hypoglossal reflex) were successfully induced in patients under total intravenous anesthesia with both monopolar and bipolar stimulation. One patient also showed a reaction of the orbicularis oris muscle (stimulation of V2, snout reflex). The technique used enabled to differentiate not only the motor and sensory roots of the trigeminal nerve, but also its different sensory portions separately.

Conclusion: The intraoperative stimulation mapping of sensory branches/portions of the trigeminal nerve via unconditioned reflex motor responses can be performed using the equipment and anesthesia regimen typical for motor nerve mapping.

Keywords: Case Reports; Intraoperative Neurophysiological Monitoring; Microvascular Decompression Surgery; Neurosurgical Procedures; Trigeminal Nerve; Trigeminal Neuralgia; Reflexes

Введение

Строение и ход интракраниальной порции тройничного нерва и его корешков значительно варьируют [1], а наличие патологических образований в области задней черепной ямки и мостомозжечковом углу способно дополнительно изменять их ход и затруднять адекватную визуализацию. В связи с этим при проведении в данной области таких оперативных вмешательств, как удаление объемных образований, тригеминальная ризотомия и микроваскулярная декомпрессия (МВД), стимуляционное картирование тройничного нерва может существенно облегчать хирургу оценку операционного поля и снижать риск послеоперационных ятрогенных неврологических нарушений. Однако, если интраоперационное стимуляционное картирование моторных ветвей тройничного, лицевого и других черепных нервов [2; 3] является общепринятым широко применяемым методом, попытки стимуляционного картирования сенсорных ветвей тройничного нерва представлены лишь в единичных публикациях [4–6]. В последнее время расширяется применение при интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге (ИОНМ) безусловных рефлексов [7], в том числе мигательного [8; 9] и тройнично-подъязычного [10; 11], афферентными компонентами которых являются первая и третья сенсорные ветви тройничного нерва соответственно. Однако этот подход почти во всех случаях использовался для мониторинга функционального состояния сенсорных нервов и других структур, входящих в состав рефлекторной дуги, а не для картирования сенсорных нервов. В настоящей работе представлено три клинических случая, в которых прямая электрическая стимуляция сенсорного корешка тройничного нерва вызывала безусловнорефлекторные моторные реакции мышц головы.

Целью работы была демонстрация использования такой стимуляции и этих реакций для интраоперационного картирования не только моторного, но и сенсорного корешка тройничного нерва, а также дифференцировки сенсорных порций/ветвей тройничного нерва между собой.

Методы

Во всех трех клинических случаях данные получены при выполнении стимуляционного картирования черепных нервов с использованием общепринятых методик, применяющихся для картирования двигательных нервов при операциях в области задней черепной ямки и мостомозжечкового угла.

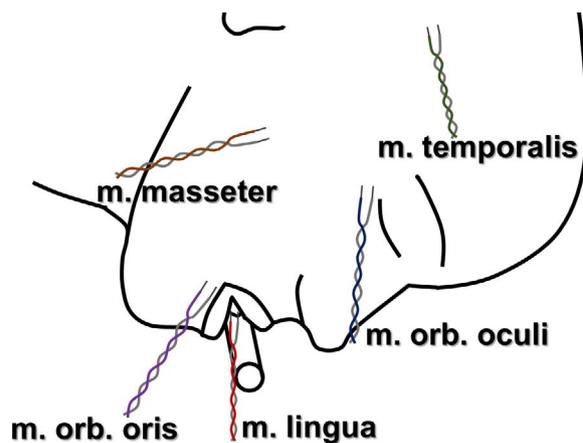


Рис. 1. Размещение электродов для регистрации моторных ответов на электрическую стимуляцию черепных нервов и мониторинга фоновой (free-run) электромиограммы

Картирование проводили в связи с риском интраоперационного повреждения черепных нервов вследствие возможных затруднений в визуализации и/или идентификации. Во всех случаях стерильные биполярные игольчатые электроды, регистрирующие моторные ответы, устанавливали в круговые мышцы глаза и рта (иннервируются ветвями лицевого нерва), жевательную и височную мышцы (иннервируются моторными ветвями тройничного нерва) и мышцы языка (иннервируются подъязычным нервом) на оперируемой стороне; кроме этого регистрирующие электроды устанавливали в мышцы, приводящие большой палец кисти на обеих руках. Последние использовали для мониторинга проведения по кортикоспинальным трактам с помощью регистрации моторных вызванных потенциалов (МВП) на транскраниальную электрическую стимуляцию (ТЭС), а также для контроля глубины миорелаксации с помощью теста «четырёхкратная стимуляция» (англ. train-of-four, TOF [12]). Размещение регистрирующих электродов, установленных в вышеуказанные мышцы головы, показано на рис. 1. При регистрации моторных ответов на электрическую стимуляцию в операционном поле использовали расширенное временное окно: от момента стимуляции до 40–50 мс после нее (обычно используется от момента стимуляции до 15–20 мс). Это позволило зарегистрировать не только коротколатентные моторные ответы на прямую стимуляцию двигательных нервов (М-ответы), но и безусловнорефлекторные моторные реакции мышц, иннервируемых лицевым и подъязычным нервами при стимуляции сенсорного корешка тройничного нерва.

Табл. 1. Демографические характеристики и данные из историй болезни пациентов

Клинический случай	1	2	3
Пол	Мужской	Мужской	Женский
Возрастная группа	Пожилые	Пожилые	Пожилые
Диагноз	Классическая тригеминальная невралгия V2, V3 слева. Нейроваскулярный конфликт. Долихобазиллярис	Классическая тригеминальная невралгия V2, V3 справа, хроническое рецидивирующее течение. Нейроваскулярный конфликт	Классическая тригеминальная невралгия V3 слева. Нейроваскулярный конфликт
Название операции	Микроваскулярная декомпрессия корешка тройничного нерва слева. Транспозиция долихоэктатической левой позвоночной артерии	Микроваскулярная декомпрессия правого тройничного нерва	Микроваскулярная декомпрессия корешка левого тройничного нерва
Тип доступа	Ретросигмовидный	Ретросигмовидный	Ретросигмовидный
Дооперационные дисфункции тройничного нерва	Болезненность и гиперестезия в зоне иннервации V2 слева	Гипестезия V1–V3 справа, болезненность в точках выхода и зоне иннервации V2, V3 справа	Болезненность в области выхода и иннервации V3 слева
Другие дооперационные неврологические нарушения	Нет	Нет	Нет

Табл. 2. Параметры стимуляции при картировании ветвей тройничного нерва и другие характеристики интраоперационного нейрофизиологического мониторинга

Клинический случай	1	2	3
Оборудование	ISIS IOM (inomed Medizintechnik GmbH, Эммендинген, Германия)	ISIS IOM	Нейро-ИОМ (ООО «Нейрософт», Иваново, Россия)
Вид стимуляции	Монополярная	Биполярная (микровилка)	Биполярная (микровилка)
Тип стимула	Двукратный импульс	Двукратный импульс	Однократный импульс
Интервал между импульсами	2,0 мс	2,0 мс	–
Длительность импульса	200 мкс	200 мкс	100 мкс
Интенсивность стимуляции	1,0–3,0 мА	1,0 мА	0,1–4,0 мА
Мониторировавшиеся мышцы лица и головы	Orb. oculi, orb. oris, masseter, temporalis, мышцы языка	Orb. oculi, orb. oris, masseter, temporalis, мышцы языка	Orb. oculi, orb. oris, masseter, temporalis, мышцы языка
Другие методы ИОНМ	ЭЭГ, моторные ВП (ТЭС), соматосенсорные ВП, ТОФ, ЭМГ (free-run)	ЭЭГ, моторные ВП (ТЭС), соматосенсорные ВП, ТОФ, ЭМГ (free-run)	ЭЭГ, моторные ВП (ТЭС), соматосенсорные ВП, ТОФ, ЭМГ (free-run)
Миорелаксация во время мониторинга	Поверхностная или отсутствует. Релаксант (рокуроний) вводили только при интубации	Умеренная. Инфузия релаксанта (рокурония) 0,24 (мг/кг)/ч	Поверхностная или отсутствует. Релаксант (рокуроний) вводили только при интубации
Анестезия	ТВВА (пропофол, инфузия 8,8–11,5 (мг/кг)/ч)	ТВВА (пропофол, инфузия 5,4 (мг/кг)/ч)	ТВВА (пропофол, инфузия 7,1 (мг/кг)/ч)

Примечание. ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг; ЭЭГ — электроэнцефалография; ВП — вызванные потенциалы; ТЭС — транскраниальная электрическая стимуляция; ТОФ (англ. train-of-four) — четырехкратная стимуляция; ЭМГ — электромиография; ТВВА — тотальная внутривенная анестезия.

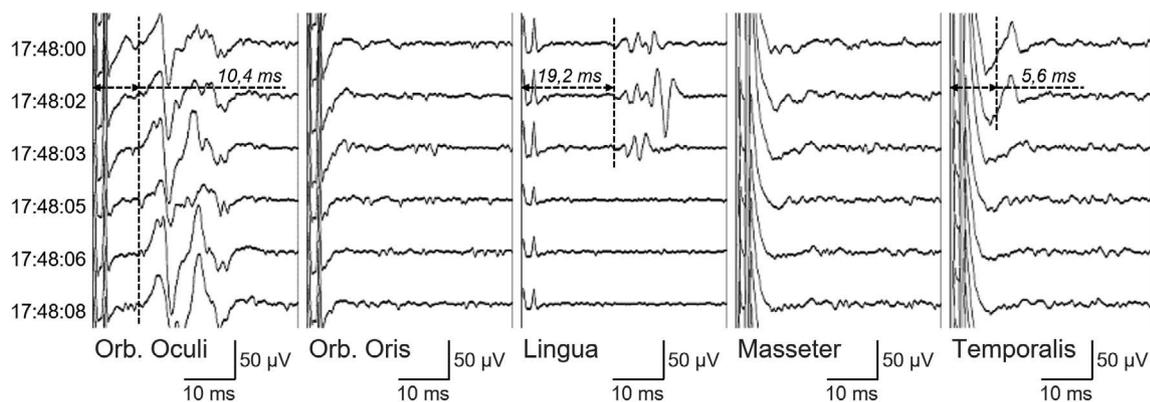


Рис. 2. Рефлекторные моторные ответы на стимуляцию чувствительного корешка тройничного нерва (клинический случай 1)

Примечание. Показано 6 последовательных ответов, записывавшихся одновременно от *mm. orbicularis oculi*, *orbicularis oris*, *masseter*, *temporalis* и мышц языка при электрической стимуляции чувствительного корешка тройничного нерва. Для трех верхних треков интенсивность стимуляции 2 мА, для трех нижних — 1 мА, положение стимулятора не изменялось; остальные параметры стимуляции приведены в табл. 2. Масштабные линейки для латентностей и амплитуд показаны ниже графиков.

Демографические данные и информация из историй болезни пациентов приведены в табл. 1. Данные из протоколов ИОНМ, включая параметры стимуляции и другие параметры мониторинга, отражены в табл. 2. Исследование является ретроспективным, предварительный отбор участников не проводили. Ретроспективный сбор и анализ данных пациентов в рамках работы по гранту РФФИ № 23-25-00322 одобрены решением локального этического комитета НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина (выписка № 07-5 из протокола заседания локального этического комитета № 5 от 14.07.2023 г.). У всех больных получено информированное согласие на использование медицинских данных в научных целях. Персональные данные, идентифицирующие пациентов, в работе не раскрываются.

Результаты

Клинический случай 1. Во время основного этапа операции выполняли прямую электрическую стимуляцию чувствительного корешка тройничного нерва (параметры стимуляции здесь и далее см. в табл. 2). На рис. 2 показаны ответы, полученные при стимуляции порции тройничного нерва, соответствующей ветви V1. При стимуляции интенсивностью 2 мА (три верхних трека для каждой мышцы) были получены рефлекторные ответы с латентностями около 10, 6 и 19 мс от *mm. orbicularis oculi*, *temporalis* и мышц языка соответственно. После снижения интенсивности стимуляции до 1 мА (три нижних трека) ответы вызывались только от *m. orbicularis oculi*. Интраоперационно у этого пациента наблюдались признаки умеренного снижения проведения по лицевому нерву, однако после операции имелась толь-

ко гипестезия в зоне иннервации V1–V3 слева, сочетавшаяся с регрессом болевого синдрома; других неврологических изменений не было.

Клинический случай 2. После выполнения доступа осуществляли прямую электрическую стимуляцию чувствительного и двигательного корешков тройничного нерва. Получили прямые ответы с латентностью около 2,5 мс от *mm. masseter* и *temporalis* и рефлекторные ответы с латентностью около 12 мс и около 18 мс от *m. orbicularis oculi* и мышц языка соответственно; в том числе нашли участки, стимуляция которых вызывает только рефлекторные ответы, и участки, при стимуляции которых выявили только прямые моторные ответы лицевых мышц. Электроды, размещенные в *m. orbicularis oculi*, регистрировали и рефлекторный ответ (верхние треки на рис. 3), и, судя по латентности, прямой моторный ответ (нижние треки на рис. 3, предположительно потенциал дальнего поля от *m. masseter*). В последнем случае разница в латентности позволяла надежно дифференцировать прямой и рефлекторный ответы. Кроме этого, прямые моторные ответы имели амплитуды в 2–8 раз выше, чем рефлекторные. Интраоперационных неврологических нарушений по данным ИОНМ не выявили. После операции — регресс болевого синдрома в зоне иннервации V2–V3 справа, без новых неврологических нарушений.

Клинический случай 3. Во время операции стимулировали различные порции тройничного нерва. Получили прямые моторные ответы от *mm. masseter* и *temporalis* (латентность около 2,5 мс) и, при другой локализации стимулятора, рефлекторные ответы от *mm. orbicularis oris* и *orbicularis oculi*, то есть прокартировали двигательный и чувствительный корешки

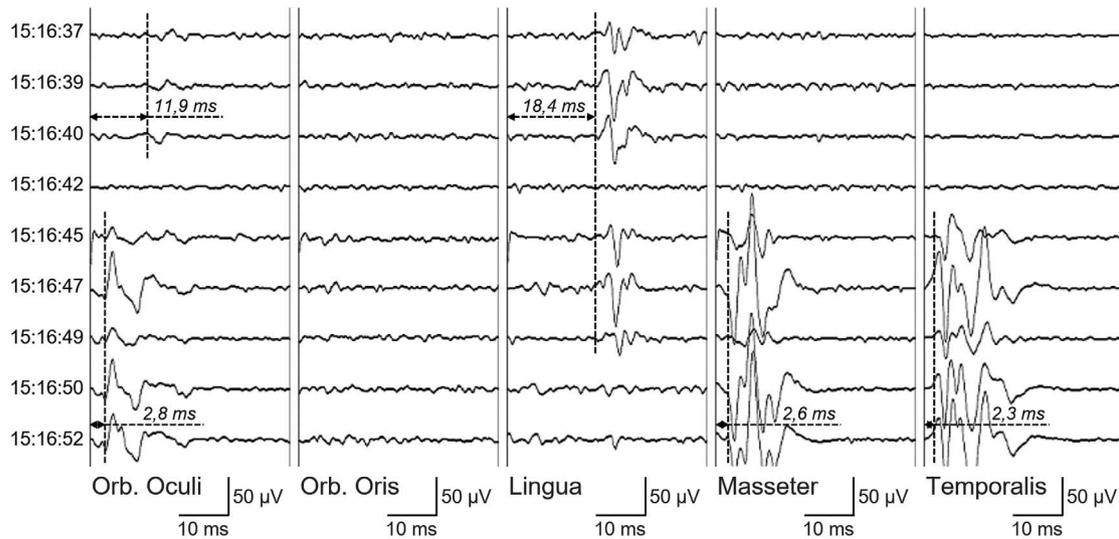


Рис. 3. Прямые и рефлекторные моторные ответы на стимуляцию двигательного корешка и различных порций чувствительного корешка тройничного нерва (клинический случай 2)

Примечание. Показано 9 последовательных ответов, записывавшихся одновременно от mm. orbicularis oculi, orbicularis oris, masseter, temporalis и мышц языка при электрической стимуляции чувствительного и двигательного корешков тройничного нерва. Для всех треков интенсивность стимуляции 1 мА, стимулятор смещали от порции V2 (три верхних трека) к порции V3 (средние треки) и к двигательному корешку (три нижних трека), на 15:16:42 (четвертый трек сверху) контакта не было; остальные параметры стимуляции приведены в табл. 2. Масштабные линейки для латентностей и амплитуд показаны ниже графиков.

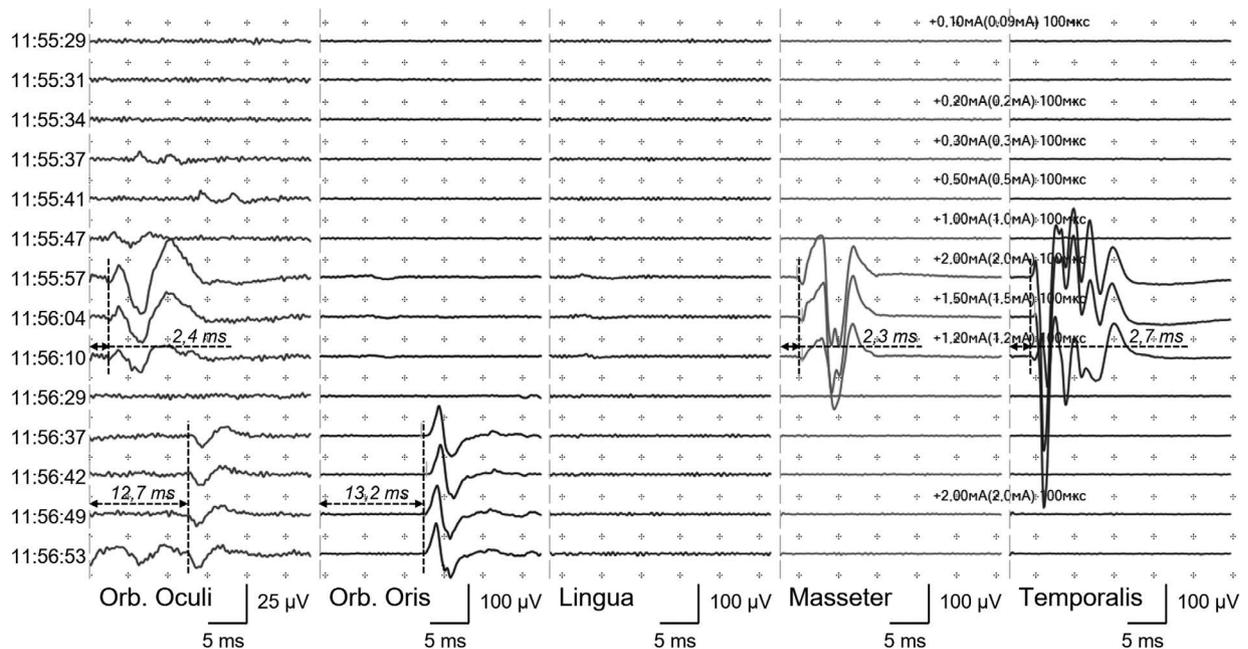


Рис. 4. Прямые и рефлекторные моторные ответы на стимуляцию двигательного и чувствительного корешков тройничного нерва (клинический случай 3)

Примечание. Показано 14 последовательных ответов на стимуляцию в 3 разных локализациях: чувствительный корешок тройничного нерва (верхние 9 треков), порция тройничного нерва, соответствующая V3 (десятый трек, ответов не получено), порция тройничного нерва, соответствующая V2 (4 нижних трека). Над треками в столбце m. masseter указана интенсивность стимуляции (отсутствие надписи означает, что сила тока оставалась той же, что для предшествующего трека). На треках для m. orbicularis oculi имеются ответы при стимуляции как моторного, так и чувствительного корешков тройничного нерва, однако они хорошо различаются по латентности. Для этой же мышцы на треках 4, 5 и 14 отмечаются элементы спонтанной активности. Масштабные линейки для латентностей и амплитуд показаны ниже графиков.

тройничного нерва и получили свидетельство сохранения проведения по *rr. buccalis* и *temporalis* лицевого нерва (рис. 4). При ИОНМ наблюдали признаки временного снижения проведения по ветвям лицевого нерва с последующим восстановлением. Послеоперационно — регресс болевого синдрома в зоне иннервации V3 слева, без новых неврологических нарушений.

Обсуждение

Клинический случай 1 демонстрирует дифференцировку порции чувствительного корешка тройничного нерва с помощью стимуляционного картирования. Снижение интенсивности стимуляции позволило селективно вызывать только мигательный рефлекс, то есть селективно активировать порцию V1 тройничного нерва. Отметим, что ответы, полученные от височной мышцы (иннервируемой моторной ветвью тройничного нерва), также представляют собой рефлекторную реакцию (Н-рефлекс), а не М-ответ, о чем свидетельствует их латентность. На первый взгляд, может удивлять получение рефлекторных моторных ответов при отсутствии прямых, однако это соответствует данным литературы: в детальном исследовании G.M. Macaluso и A. De Laat [13] было показано, что при постепенном увеличении интенсивности стимуляции моторных ветвей тройничного нерва Н-рефлекс височной мышцы проявляется раньше М-ответов. Интенсивность стимуляции в нашем случае была значительно выше показанного в этой работе порогового уровня (2,0 мА против 0,3–0,4 мА). Однако, поскольку точка стимуляции была удалена от моторного корешка, сила достигавшего его тока была ниже номинального значения. При этом предполагаем, что пороговая интенсивность стимуляции была, наоборот, повышена из-за компримированности нерва вследствие вертебробазиллярной долихоэктазии.

Полученные в этом клиническом случае результаты демонстрируют возможность использования безусловнорефлекторного стимуляционного картирования для идентификации смещенного, деформированного и компримированного опухоли тройничного нерва при хирургическом удалении вестибулярных шванном и других опухолей мостомозжечкового угла. Действительно, несмотря на грубую компрессию нерва, безусловнорефлекторные реакции при его стимуляции успешно вызывались и хорошо воспроизводились.

Заметим также, что здесь продемонстрирован подход к изменению интенсивности стимуляции «сверху вниз»: начинать с относительно большой

силы тока (в безопасных пределах), получая сначала генерализованный ответ, и уточнять локализацию, снижая интенсивность. Такой подход позволяет быстро находить необходимую и достаточную для картирования и идентификации нервов интенсивность стимуляции и уменьшить вероятность ложно-негативных выводов о результатах картирования. Например, отсутствие ответа от круговой мышцы рта (хоботкового рефлекса) при наличии одновременных ответов от круговой мышцы глаза и мышц языка позволяет заключить, что у этого пациента непосредственная идентификация ветви V2 с помощью стимуляционного картирования недоступна. Действительно, хоботковый рефлекс является одним из наиболее трудно вызываемых «тройничных» рефлексов во взрослой популяции. Так, при электрической стимуляции подглазничного нерва (ветвь V2) его удавалось получить лишь у части испытуемых даже в отсутствие анестезии [14].

В **клиническом случае 2** картирование выполняли с помощью стимуляции с постоянной интенсивностью в разных порциях тройничного нерва. При стимуляции в порции V2 не вызвался хоботковый рефлекс (как и в случае 1), однако вызывались тройнично-подъязычный и слабее выраженный мигательный рефлекс. Стимуляция порции V3 вызывала как тройнично-подъязычный рефлекс, так и прямые моторные ответы от жевательной и височной мышц. Ответы с той же латентностью, что от этих мышц, зарегистрированные электродами, установленными в круговой мышце глаза, вероятно, представляли собой потенциалы дальнего поля от височной и/или жевательной мышцы. Такие ответы легко дифференцируются от мигательного рефлекса по латентности, составляющей для них около 3 мс против примерно 12 мс у рефлекса. Наконец, при стимуляции моторного корешка регистрировали, как следовало ожидать, уже только прямые моторные ответы. Возможно, в этом клиническом случае оптимальной была бы стимуляция с несколько меньшей силой тока, позволившая бы получить более дифференцированные ответы.

В **клиническом случае 3** подбор силы тока осуществляли «снизу вверх». Сила тока, обеспечивавшая получение моторного ответа от жевательной и височной мышц, позволяла получить и рефлекторный ответ от круговых мышц рта и глаза при стимуляции сенсорных волокон в проекции ветви V2. В то же время ответ от мышц языка при стимуляции V3 не получили, хотя тройнично-подъязычный рефлекс обычно вызывается хорошо [10]. Вероятно, это связано с использованием в данном случае

однократного стимула, тогда как для активации полисинаптических рефлекторных дуг часто требуется стимуляция «трейном» (серией стимулов, разделенных интервалами 2–3 мс) [9]. При этом дуги мигательного и хоботкового рефлексов, судя по значительной разнице в латентности (10–14 мс против 18–20 мс), содержат меньше переключений, чем дуга тройнично-подъязычного рефлекса, что может объяснять получение первых. Выбор же метода стимуляции определялся задачей проверить в первую очередь сохранность проведения по моторным ветвям лицевого нерва, для чего однократного стимула было достаточно.

В целом в представленных случаях нами показано, что при соблюдении тех же требований к анестезии, что и для стандартного моторного картирования, мигательный, тройнично-подъязычный, а у некоторых пациентов и хоботковый, безусловные рефлексы удается зарегистрировать с хорошей воспроизводимостью. При этом значительные различия в латентности позволили уверенно дифференцировать их от моторных ответов жевательной мышцы на стимуляцию двигательного корешка тройничного нерва, что важно при идентификации V1, поскольку электроды, размещаемые в круговой мышце глаза, могут регистрировать и потенциалы дальнего поля от жевательной или височной мышцы, как представлено в случаях 2 и 3. Ответы круговой мышцы рта, то есть хоботковый рефлекс, афферентным звеном которого является V2, удалось вызвать только у одного пациента, при этом они регистрировались одновременно с ответами от круговой мышцы глаза. Вероятно, идентификация и картирование для V2 более затруднительны, чем для V1 и V3. Важно также использовать стимуляцию «трейном», а не единичным стимулом, что позволяет более надежно получать рефлекторные ответы [9], снижая вероятность ложно-негативных результатов картирования. Разработка протокола стимуляции, оптимизированного для безусловнорефлекторного стимуляционного картирования сенсорных нервов, требует дополнительных исследований на больших группах пациентов.

Характеристики зарегистрированных нами реакций соответствуют результатам, представленным в работах других авторов, которые, однако, либо рассматривали рефлекторные ответы, соответствующие лишь одной ветви тройничного нерва [10; 11], либо использовали не прямую, а чрескожную стимуляцию ветвей тройничного нерва [15; 16]. Попытка дифференцировки порций тройничного нерва с помощью регистрации ответов на их прямую стимуля-

цию описана в недавней работе R. Carrai и соавт. [6]. Эти авторы ставили целью использовать для картирования потенциалы действия сенсорного нерва (англ. sensory nerve action potential, SNAP [4]), однако и амплитуды, и латентности в представленных ими результатах соответствуют моторным рефлекторным реакциям, а не SNAP. Показанная R. Carrai и соавт. невысокая специфичность картирования может, на наш взгляд, объясняться некорректной интерпретацией полученных результатов и расположением регистрирующих электродов в точках выхода ветвей тройничного нерва, неоптимальным для дифференцировки рефлекторных моторных ответов.

Представленные нами результаты получены при микроваскулярных декомпрессиях, выполнявшихся по поводу тригеминальных невралгий, однако наиболее перспективным представляется использование безусловнорефлекторного стимуляционного картирования тройничного нерва при удалении опухолей мостомозжечкового угла. Нередким эффектом этих образований является деформация и смещение тройничного нерва [17; 18], могущие значительно затруднять его визуализацию и идентификацию. По данным одной из крупнейших серий хирургического удаления вестибулярных шванном [19], анестезия лица вследствие повреждения тройничного нерва занимала третье место среди долгосрочных осложнений (после анакузии и пареза лицевого нерва), встречаясь в 15,7 % случаев. Интраоперационное картирование и идентификация чувствительного корешка тройничного нерва, его порций и ветвей позволит предотвратить часть из этих осложнений. По данным Y.A. Ashram и соавт. [20], мониторинг ответов височной и теменной мышц (иннервируются моторной ветвью тройничного нерва) при стимуляционном картировании во время удаления вестибулярных шванном облегчает идентификацию смещенного опухолью лицевого нерва. Дополнение этого подхода контролем рефлекторных ответов, на наш взгляд, еще больше усилит его. В частности, это позволит избежать ошибочной интерпретации рефлекторных ответов на стимуляцию тройничного нерва как прямых ответов на стимуляцию нерва лицевого. Такая ошибка возможна, поскольку компрессия нервов может значительно снижать скорость распространения возбуждения и использование критерия латентности при интерпретации изолированного ответа становится ненадежным.

Кроме того, безусловнорефлекторное стимуляционное картирование сенсорного корешка

тройничного нерва потенциально может меняться при его селективной частичной ризотомии. Этот метод лечения используется при тригеминальной невралгии без нейроваскулярных конфликтов [21; 22]. Он был описан почти 100 лет назад [23], однако был замещен другими подходами и почти вышел из практики в связи с неоднозначными результатами и повышенным риском осложнений, включая значительно снижающее качество жизни нарушение корнеального рефлекса [21]. В то же время для пациентов с тригеминальной невралгией, вызванной рассеянным склерозом, этот метод обеспечивает максимальное время до возвращения болевого синдрома по сравнению с другими способами лечения [22]. В этом случае интраоперационное картирование чувствительного корешка тройничного нерва может помочь выполнить высокоселективное пересечение его волокон и уменьшить риск послеоперационных осложнений.

Заключение

Интраоперационное картирование порций чувствительного корешка тройничного нерва, в том числе дифференцировку как минимум порций V1 и V3, можно выполнять в условиях тотальной внутривенной анестезии, используя безусловнорефлекторные моторные реакции. Применение безусловнорефлекторного стимуляционного картирования наряду с картированием двигательных нервов даст хирургам возможность определять положение чувствительного корешка тройничного нерва и/или его ветвей в операционном поле, а также идентифицировать его разные порции. Эта информация может помочь избегать ятрогенных неврологических осложнений типа гипо- и гиперэстезий при операциях в области задней черепной ямки.

Список литературы / References

- Gudmundsson K., Rhoton A.L., Rushton J.G. Detailed anatomy of the intracranial portion of the trigeminal nerve. *J Neurosurg.* 1971;35(5):592-600. PMID: 5120007. <https://doi.org/10.3171/jns.1971.35.5.0592>
- Lopez J.R., Legatt A.D. Monitoring surgery around the cranial nerves. *Handb Clin Neurol.* 2022;186:319-351. PMID: 35772894. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819826-1.00020-X>
- Шкарубо А.Н., Огурцова А.А., Мощев Д.А., Лубнин А.Ю., Андреев Д.Н., Коваль К.В., Чернов И.В. Нейрофизиологическая идентификация черепных нервов в эндоскопической эндоназальной хирургии опухолей основания черепа. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко.* 2016;80(3):35-49. <https://doi.org/10.17116/neiro201680335-49>
Shkarubo A.N., Ogurtsova A.A., Moshchev D.A., Lubnin A.Y., Andreev D.N., Koval K.V., Chernov I.V. Neurophysiological identification of the cranial nerves in endoscopic endonasal surgery of skull base tumors. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2016;80(3):35-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/neiro201680335-49>
- Stechison M.T., Møller A., Lovely T.J. Intraoperative mapping of the trigeminal nerve root: technique and application in the surgical management of facial pain. *Neurosurgery.* 1996;38(1):76-82. PMID: 8747954. <https://doi.org/10.1097/00006123-199601000-00018>
- Lin B., Lu X., Zhai X., Cai Z. Use of sensory and motor action potentials to identify the position of trigeminal nerve divisions for radiofrequency thermocoagulation. *J Neurosurg.* 2014;121(6):1497-1503. PMID: 25280092. <https://doi.org/10.3171/2014.8.JNS132484>
- Carrai R., Morone F., Baldanzi F., Martinelli C., Bonaudo C., Tola S., Muscas G., Caramelli R., Spalletti M., Grippo A., Bucciardini L., Amadori A., DellaPupa A. Intraoperative mapping of the sensory root of the trigeminal nerve in patients with pontocerebellar angle pathology. *World Neurosurg.* 2023;178:e104-112. PMID: 37454910. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.06.146>
- Choi J., Díaz-Baamonde A., Sánchez Roldán M.L.A., Pescador A.M., Kim J.-S., Tellez M.J., Park K.S., Deletis V. Advancing intraoperative neurophysiological monitoring with human reflexes. *J Clin Neurol.* 2024;20(2):119. PMID: 38433484; PMCID: PMC10921042. <https://doi.org/10.3988/jcn.2023.0416>
- Deletis V., Urriza J., Ulkatan S., Fernandez-Conejero I., Lesser J., Misita D. The feasibility of recording blink reflexes under general anesthesia. *Muscle Nerve.* 2009;39(5):642-646. PMID: 19347924. <https://doi.org/10.1002/mus.21257>
- Fernandez-Conejero I., Ulkatan S., Sen C., Deletis V. Intra-operative neurophysiology during microvascular decompression for hemifacial spasm. *Clin Neurophysiol.* 2012;123(1):78-83. PMID: 22136736. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.10.007>
- Pescador A.M., Tellez M.J., Roldan M.D., Samusyte G., Lawson E.C., Coelho P., Lejarde A., Rathore A., Le D., Ulkatan S. Methodology for eliciting the brainstem trigeminal-hypoglossal reflex in humans under general anesthesia. *Clin Neurophysiol.* 2022;137:1-10. PMID: 35231863. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2022.02.004>
- Szelenyi A., Fava E. Long latency responses in tongue muscle elicited by various stimulation sites in anesthetized humans. New insights into tongue-related brainstem reflexes. *Brain Stimul.* 2022;15(3):566-575. PMID: 35341967. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.03.003>
- Ali H.H., Utting J.E., Gray C. Stimulus frequency in the detection of neuromuscular block in humans. *Br J Anaesth.* 1970;42(11):967-978. PMID: 5488360. <https://doi.org/10.1093/bja/42.11.967>
- Macaluso G.M., De Laat A. H-reflexes in masseter and temporalis muscles in man. *Exp Brain Res.* 1995;107:315-320. PMID: 8773249. <https://doi.org/10.1007/BF00230051>
- Girlanda P., Roberto M.L., Dattola R., Morgante L., Venuto C., Messina C. Electrophysiological study of the snout reflex in normal subjects and in parkinsonian and pseudobulbar patients. *Eur Neurol.* 1986;25(3):166-171. PMID: 3699067. <https://doi.org/10.1159/000116004>
- Cruccu G., Bowsher D. Intracranial stimulation of the trigeminal nerve in man. II. Reflex responses. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1986;49(4):419-427. PMID: 3701351; PMCID: PMC1028769. <https://doi.org/10.1136/jnnp.49.4.419>

16. Maisonobe T., Tankere F., Lamas G., Soudant J., Bouche P., Willer J.C., Fournier E. Reflexes elicited from cutaneous and mucosal trigeminal afferents in normal human subjects. *Brain Research*. 1998;810(1-2):220-228. PMID: 9813339. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(98\)00953-6](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(98)00953-6)
17. Григорян Г.Ю., Древаль О.Н., Ситников А.Р., Григорян Ю.А. Анатомическое обоснование хирургического лечения тригеминальной невралгии, сочетающейся с опухолями мостомозжечкового угла. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2019;83(1):53-66. <https://doi.org/10.17116/neiro20198301153>
Grigoryan G.Yu., Dreval O.N., Sitnikov A.R., Grigoryan Yu.A. Anatomical rationale for surgical treatment of trigeminal neuralgia combined with cerebellopontine angle tumors. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2019;83(1):53-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/neiro20198301153>
18. Chen D.Q., Quan J., Guha A., Tymianski M., Mikulis D., Hodaie M. Three-dimensional in vivo modeling of vestibular schwannomas and surrounding cranial nerves with diffusion imaging tractography. *Neurosurgery*. 2011;68(4):1077-1083. PMID: 21242825. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31820c6cbe>
19. Huang X., Xu J., Xu M., Chen M., Ji K., Ren J., Zhong P. Functional outcome and complications after the microsurgical removal of giant vestibular schwannomas via the retrosigmoid approach: a retrospective review of 16-year experience in a single hospital. *BMC Neurology*. 2017;17(1):18. PMID: 28137246; PMCID: PMC5282727. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0805-6>
20. Ashram Y.A., Zohdy Y.M., Rayan T.A., Badr-El-Dine M.M. Value of intraoperative monitoring of the trigeminal nerve in detection of a superiorly displaced facial nerve during surgery for large vestibular schwannomas. *Neurosurg Rev*. 2022;45(2):1343-1351. PMID: 34533668. <https://doi.org/10.1007/s10143-021-01646-7>
21. Terrier L.-M., Amelot A., François P., Destrieux C., Zemmoura I., Velut S. Therapeutic failure in trigeminal neuralgia: from a clarification of trigeminal nerve somatotopy to a targeted partial sensory rhizotomy. *World Neurosurg*. 2018;117:e138-e145. PMID: 29883821. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.211>
22. Bigder M.G., Krishnan S., Cook E.F., Kaufmann A.M. Microsurgical rhizotomy for trigeminal neuralgia in MS patients: technique, patient satisfaction, and clinical outcomes. *J Neurosurg*. 2018;130(6):1877-1888. PMID: 30004276. <https://doi.org/10.3171/2017.12.JNS171647>
23. Dandy W.E. An operation for the cure of tic douloureux: partial section of the sensory root at the pons. *Archives of Surgery*. 1929;18(2):687-734. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1929.04420030081005>