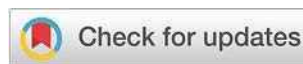


<https://doi.org/10.57256/2949-0715-2025-4-4-68-75>



ДИНАМИКА ЭЭГ-ПАРАМЕТРОВ В ПЕРИОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ ЛЕЧЕНИЯ МОНОСЕГМЕНТАРНОГО СТЕНОЗА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Сороковиков В.А.^{1,2}, Кинаш И.Н.¹, Ипполитова Е.Г.¹, Верховина Т.К.^{1,2}, Цысляк Е.С.¹

¹ Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия

² Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, 664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Метод передней декомпрессии (дискэктомии) при моноsegmentарных стенозах позвоночного канала шейного отдела субъективно оценивается как высокоэффективный и нейрохирургами, и подавляющим большинством пациентов. Однако объективные критерии ранней эффективности данного вмешательства до настоящего времени недостаточно изучены.

Цель. Оценить динамику параметров электроэнцефалограммы в предоперационном и в раннем послеоперационном периоде у пациентов с моноsegmentарным стенозом шейного отдела позвоночника.

Материалы и методы. Электроэнцефалография проведена 22 пациентам отделения нейрохирургии, до и после оперативного лечения по поводу моноsegmentарного стеноза шейного отдела позвоночника. Исследовали спектральный состав биоэлектрической активности головного мозга (альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмы), а также когерентность колебаний в выбранных отведениях.

Результаты. В дооперационном периоде в группе обследованных регистрировался дезорганизованный тип электроэнцефалограммы по классификации Е.А. Жирмунской, имело место снижение индекса и амплитуды альфа-ритма в теменно-затылочных отведениях; преобладание высокоамплитудной бета-активности в лобно-центральных отведениях; наличие диффузной дельта-активности среднего индекса и тета-активности среднего индекса, локализованной в отведениях P3, P4, C3, C4. На 5-е сутки после операции на энцефалограмме регистрировался организованный тип, наблюдался хорошо модулированный альфа-ритм, частотой в диапазоне от 9 до 10 Гц, амплитудой от 70 до 80 мкВ. В лобно-центральных отведениях была зарегистрирована низкоамплитудная активность бета-ритма. Низкоамплитудные дельта- и тета-ритмы регистрировались в теменно-затылочных отведениях и имели низкий индекс. В целом, полученные данные свидетельствовали о положительной динамике в восстановлении корковых ритмов.

Заключение. Положительная динамика биоритмов коры мозга в раннем послеоперационном периоде позволяет рекомендовать использование метода электроэнцефалографии для объективизации результатов оперативного лечения, в дальнейшем в целях нейрореабилитации.

Ключевые слова: электроэнцефалография, моноsegmentарный стеноз шейного отдела позвоночника, дискэктомия, ламинэктомия

Для цитирования: Сороковиков В.А., Кинаш И.Н., Ипполитова Е.Г., Верховина Т.К., Цысляк Е.С. Динамика ЭЭГ-параметров в периоперационном периоде лечения моноsegmentарного стеноза шейного отдела позвоночника. *Байкальский медицинский журнал*. 2025; 4(4): 68-75. <https://doi.org/10.57256/2949-0715-2025-4-4-68-75>

DYNAMICS OF EEG PARAMETERS IN THE PERIOPERATIVE PERIOD OF TREATMENT OF MONOSEGMENTAL STENOSIS OF THE CERVICAL SPINE

Vladimir A. Sorokovikov^{1,2}, Irina N. Kinash¹, Elena G. Ippolitova¹, Tatiana K. Verkhozina^{1,2}, Elena S. Tsyslyak¹

¹ Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, 664003, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str., 1, Russian Federation

² Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 664049, Irkutsk, Yubileiny, 100, Russian Federation

ABSTRACT

Background. The method of anterior decompression (discectomy) for monosegmental stenosis of the cervical spinal canal is subjectively assessed as highly effective by both neurosurgeons and the vast majority of patients. However, the objective criteria for the early effectiveness of this intervention have not been sufficiently studied to date.

The aim. To evaluate the dynamics of electroencephalography parameters in the preoperative and early postoperative period in patients with monosegmental stenosis of the cervical spine.

Materials and methods. Electroencephalography studies were conducted on 22 patients of the neurosurgery department, before and after surgical treatment. The spectral composition of the bioelectrical activity of the brain (alpha, beta, delta and theta rhythms), as well as the coherence of oscillations in selected leads, were studied.

Results. In the preoperative period, a disorganized type of electroencephalogram was recorded in the examined group according to the classification of E.A. Zhirmunskaya; there was a decrease in the index and amplitude of the alpha rhythm in the parietal-occipital leads; predominance of high-amplitude beta activity in the frontal-central leads; presence of diffuse delta activity of the average index and theta activity of the average index, localized in leads P3, P4, C3, C4. On day 5 after the operation, an organized type of electroencephalography was recorded on the encephalogram; a well-modulated alpha rhythm was observed, with a frequency in the range from 9 to 10 Hz, and an amplitude of 70 to 80 μ V. Low-amplitude beta rhythm activity was recorded in the frontocentral leads. Low-amplitude delta and theta rhythms were recorded in the parieto-occipital leads and had a low index. Overall, the data obtained indicated positive dynamics in the restoration of cortical rhythms.

Conclusion. The positive dynamics of cerebral cortex biorhythms in the early postoperative period allows the use of the electroencephalography method to objectify the results of surgical treatment, and in the future for the purposes of neurorehabilitation.

Key words: *electroencephalography, monosegmental stenosis of the cervical spine, discectomy, laminectomy*

For citation: Sorokovikov V.A., Kinash I.N., Ippolitova E.G., Verkhozina T.K., Tsyslyak E.S. Dynamics of EEG parameters in the perioperative period of treatment of monosegmental stenosis of the cervical spine. *Baikal Medical Journal*. 2025; 4(4): 68-75. <https://doi.org/10.57256/2949-0715-2025-4-4-68-75>

ВВЕДЕНИЕ

Моноsegmentарный стеноз шейного отдела позвоночника, сопровождающийся болевым корешковым синдромом, приводит не только к компрессии нервных структур, но и к значительным изменениям корковой нейродинамики, регистрируемым на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Боль при стенозе шейного отдела позвоночника зачастую носит затяжной характер, слабо поддается лечению с помощью консервативных методов и, соответственно, приводит к появлению напряженности и тревожности, устойчивому состоянию дискомфорта, вызывая состояние хронической депрессии, что значительно снижает качество жизни пациентов в целом [1–3].

При стенозических изменениях позвоночного канала на шейном уровне наблюдается целый комплекс нарушений функционального характера, включающий неврологические отклонения, ослабление кровотока в бассейнах позвоночной и сонной артерий. Всё это приводит к дезорганизации биоэлектрической активности мозга [4, 5], которая становится более выраженной при ухудшении эмоционального состояния у пациентов с некупируемым болевым синдромом [6, 7].

Консервативное лечение стеноза шейного отдела позвоночника, включающее медикаментозную терапию, физиотерапию, рефлексотерапию и массаж, демонстрирует ограниченную эффективность. При неэффективности консервативных мер и прогрессировании стеноза показано хирургическое вмешательство [8, 9].

Метод передней декомпрессии (дискэктомии) при моноsegmentарных стенозах позвоночного канала шейного отдела позволяет достичь отличных и хороших результатов у подавляющего большинства пациентов [6, 10, 11]. Вместе с тем, объективные критерии ранней эффективности данного вмешательства, в частности оценка нейрофизиологических изменений, остаются недостаточно изученными.

В связи с этим представляет интерес исследование ЭЭГ-параметров у пациентов с моноsegmentарным стенозом и корешковой симптоматикой, перенёвших переднюю декомпрессию. Проведённый анализ литературы не выявил аналогичных исследований, что и обусловило цель выполненной работы.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести анализ спектральных и когерентных параметров ЭЭГ в периоперационном периоде у пациентов с моноsegmentарным стенозом шейного отдела позвоночника и их корреляцию с изменениями неврологического статуса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ЭЭГ-исследования проведены 22 пациентам отделения нейрохирургии Иркутского научного цен-

тра хирургии и травматологии, которые поступили на оперативное лечение по поводу моноsegmentарного стеноза шейного отдела позвоночника (M48.0 по МКБ-10). В группу обследованных вошли 11 женщин и 11 мужчин, средний возраст пациентов составил $50 \pm 1,7$ года. У всех пациентов был ярко выражен болевой синдром, имевший своим следствием признаки корешковой дисфункции: изменение чувствительности в верхних конечностях, мышечную слабость и выпадение глубоких рефлексов. У 5 пациентов уровень стеноза – $C_{IV}-C_{V}$, у 10 пациентов – $C_{V}-C_{VI}$ и у 7 пациентов – $C_{VI}-C_{VII}$.

Степень тяжести клинико-неврологических расстройств в группе пациентов оценивалась по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) и индексу нарушения функций шеи (Neck Disability Index, NDI).

Оценочные результаты проиллюстрировали следующие показатели: интенсивность боли в шейном отделе по ВАШ: медиана – 73,5 [55; 87,5]; интенсивность боли с иррадиацией в плечевой пояс и верхнюю конечность по ВАШ: медиана – 87 [79; 98]; уровень функциональных нарушений по шкале NDI: медиана – 32 [27,5; 49,25].

Оперативное лечение выполнено по разделу: «Сложные декомпрессионно-стабилизирующие и реконструктивные операции при травмах и заболеваниях позвоночника, сопровождающиеся развитием миелопатии, с использованием остеозамещающих материалов, погружных и наружных фиксирующих систем» (код 08.00.12.006). Согласно номенклатуре, операции присвоен код A16.23.085.001.

Биопотенциалы корковой ритмики изучались с использованием энцефалографа ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (Россия). Установка скальповых электродов соответствовала международной системе «10-20». Выделены две фазы ЭЭГ-исследований – до операции и на 5-е сутки послеоперационного состояния. Исследовали спектральный состав биоэлектрической активности головного мозга (альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмы), а также когерентность колебаний в выбранных отведениях.

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии».

Обработка статистических данных производилась согласно условиям пакета StatTech v. 4.4.1 (ООО «Статтех», Россия). С помощью критерия Шапиро – Уилка определялась нормальность распределения количественных показателей, данные представлены в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения (SD) с указанием 95%-го доверительного интервала.

Оценка корреляционных связей между количественными показателями производилась с использованием коэффициента корреляции Пирсона и коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Критерием статистической значимости считались различия при уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В дооперационном периоде картина ЭЭГ характеризовалась следующими изменениями:

- регистрацией дезорганизованного типа ЭЭГ (по классификации Жирмунской) и снижения индекса и амплитуды альфа-ритма в теменно-затылочных отведениях;
- преобладанием высокоамплитудной бета-активности в лобно-центральных отведениях;
- наличием диффузной дельта-активности среднего индекса и тета-активности среднего индекса, локализованной в отведениях P3, P4, C3, C4 (табл. 1).

Реакция на функциональные пробы (открытие и закрывание глаз, трёхминутная гипервентиляция, ритмическая фотостимуляция в диапазоне 3–27 Гц) была неоднородной. Так, у двух пациентов во время гипервентиляции регистрировались вспышки единичных комплексов «острая медленная волна» амплитудой до 110 мкВ в альфа-диапазоне и 50–60 мкВ в тета-диапазоне в отведениях C3 и C4.

Совокупность данных ЭЭГ и клинической картины в дооперационном периоде может свидетельствовать о гиперактивации коры, связанной с перевозбуждением структур ретикулярной формации ствола мозга.

Тщательный корреляционный анализ выявил различия в структуре связей в отведениях P3-A1, P4-A2,

C3-A1, C4-A2. Полученные данные о корреляционных взаимоотношениях у пациентов со стенозом в дооперационном периоде указывают на рассогласованность в работе исследуемых церебральных структур.

Выявление зон мозга с изменённой частотой и амплитудой корковых ритмов (альфа-, бета-, дельта- и тета-диапазонов) позволило уточнить патогенетические механизмы влияния моносегментарного шейного стеноза на биоэлектрическую активность головного мозга.

Повторное ЭЭГ-исследование, проведённое на 5-е сутки после операции, выявило изменения функциональной активности головного мозга (табл. 2). На энцефалограмме регистрировался организованный тип ЭЭГ (по классификации Е.А. Жирмунской), наблюдался хорошо модулированный альфа-ритм, который был довольно активным. Его основная частота находилась в диапазоне от 9 до 10 Гц, а амплитуда (сила сигнала) составляла от 70 до 80 мкВ. Этот ритм распространялся довольно широко, особенно в теменно-затылочной области, но при этом сохранялись небольшие различия в его проявлении между разными зонами мозга.

В лобно-центральных отведениях была зарегистрирована низкоамплитудная активность бета-ритма. Низкоамплитудные дельта- и тета-ритмы регистрировались в теменно-затылочных отведениях

ТАБЛИЦА 1
ПОКАЗАТЕЛИ ЭЭГ-РИТМОВ ДО ОПЕРАЦИИ

Зона исследования	Показатели (n = 22)				
	M ± SD / Me	95% ДИ (Q ₁ -Q ₃)	min	max	ритмы
O2-A2	59,14 ± 17,76	48,89–69,40	35,00	100,00	альфа
O1-A1	61,86 ± 20,94	49,77–73,95	29,00	110,00	альфа
P4-A2	23,07 ± 11,26	16,57–29,57	10,00	45,00	бета
P3-A1	27,86 ± 12,29	20,76–34,95	12,00	50,00	бета
C4-A2	22,64 ± 9,20	17,33–27,95	10,00	40,00	дельта, тета
C3-A1	25,71 ± 10,65	19,56–31,86	10,00	45,00	дельта, тета
F4-A2	20,00	15,25–28,75	10,00	65,00	бета
F3-A1	22,50	17,25–33,75	10,00	110,00	бета
Fp2-A2	19,00	10,00–20,00	10,00	30,00	бета
Fp1-A1	19,29 ± 7,03	15,23–23,35	10,00	35,00	бета
T6-A2	18,93 ± 7,36	14,68–23,18	10,00	30,00	дельта, тета
T5-A1	20,00	15,25–25,00	15,00	37,00	дельта, тета
T4-A2	25,00	20,00–26,75	10,00	60,00	дельта, тета
T3-A1	25,00	18,75–30,00	15,00	70,00	дельта, тета
F8-A2	18,00	10,00–23,75	10,00	35,00	бета
F7-A1	15,00	15,00–19,50	10,00	40,00	бета

TABLE 1
EEG RHYTHM INDICATORS BEFORE SURGERY

ТАБЛИЦА 2
ПОКАЗАТЕЛИ ЭЭГ РИТМОВ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИTABLE 2
EEG RHYTHM INDICATORS AFTER SURGERY

Зона исследования	Показатели (n = 22)				
	M ± SD / Me	95% ДИ (Q ₁ -Q ₃)	min	max	ритмы
O2-A2	72,56 ± 18,44	64,57–78,65	56,00	75,00	альфа
O1-A1	70,86 ± 20,94	69,77–73,95	56,00	75,00	альфа
P4-A2	14,07 ± 4,26	14,57–19,57	10,00	16,00	бета
P3-A1	15,86 ± 2,29	15,76–34,95	12,00	15,00	бета
C4-A2	22,64 ± 9,20	17,33–27,95	10,00	40,00	дельта, тета
C3-A1	25,71 ± 10,65	19,56–31,86	10,00	45,00	дельта, тета
F4-A2	14,90	15,25–28,75	10,00	19,00	бета
F3-A1	15,50	17,25–33,75	10,00	20,00	бета
Fp2-A2	16,00	10,00–20,00	10,00	21,00	бета
Fp1-A1	17,29 ± 7,03	15,23–23,35	10,00	25,00	бета
T6-A2	18,93 ± 7,36	14,68–23,18	10,00	20,00	дельта, тета
T5-A1	20,00	15,25–25,00	15,00	27,00	дельта, тета
T4-A2	25,00	20,00–26,75	10,00	30,00	дельта, тета
T3-A1	25,00	18,75–30,00	15,00	30,00	дельта, тета
F8-A2	18,00	10,00–23,75	10,00	25,00	бета
F7-A1	15,00	15,00–19,50	10,00	20,00	бета

и имели низкий индекс. В целом, полученные данные свидетельствуют о положительной динамике в восстановлении корковых ритмов (альфа-, бета-, дельта- и тета-диапазонов).

Таким образом, в дооперационном периоде у пациентов с моноsegmentарным стенозом шейного отдела позвоночника была выявлена дезорганизация корковой ритмики, свидетельствующая о дисфункции срединных структур. В отведениях P3-A1, P4-A2, C3-A1 и C4-A1 регистрировалась патологическая активность в виде дельта-колебаний частотой 1,5–2,0 Гц и амплитудой 20–30 мкВ, и тета-колебаний с частотой от 4 до 5 Гц и амплитудой 25–35 мкВ. Амплитуда колебаний превышала фоновый альфа-ритм.

Результаты корреляционного анализа взаимосвязей корковых ритмов (альфа-, дельта- и тета-диапазонов) показали у обследованных пациентов до операции наличие выраженных связей между правым и левым полушариями в отведениях O2-A2–O1-A1 и T6-A2–T5-A1, а в отведении P4-A2–P3-A1 – высокую патологическую связь (табл. 3).

После проведения хирургического лечения отмечена положительная динамика корреляционных взаимосвязей между правым и левым большими полушариями.

Наибольшая корреляция сохранялась в височных отведениях (F3-F4): $r_{xy} = 0,887$, что подтверждает вы-

сокую степень синхронизации активности височных долей в послеоперационном периоде.

Умеренные корреляционные связи ($0,3 \leq r_{xy} < 0,5$), зарегистрированные в затылочных (O2-O1), теменных (P4-P3) и центральных (C4-C3) отведениях, свидетельствуют о частичном восстановлении межполушарного взаимодействия, однако степень его согласованности остаётся ниже, чем в дооперационном периоде.

Слабые или статистически незначимые связи в лобных (F4-F3: $r_{xy} = 0,094$) и фронтополярных (Fp2-Fp1: $r_{xy} = 0,190$) отведениях отражают функциональную перестройку в префронтальной коре.

Сравнительный анализ позволяет предположить, что резкое снижение корреляции в теменных и затылочных отведениях обусловлено как временной десинхронизацией вследствие хирургического стресса, так и активацией компенсаторных механизмов. При этом рост синхронности в височных отведениях (F4-F3) может свидетельствовать об улучшении кровоснабжения в бассейне средней мозговой артерии и восстановлении лимбико-ретикулярных взаимодействий.

Анализ полученных данных с учётом клинической картины позволяет сделать следующие выводы: выявлена высокая степень корреляции между показателями активности в височных отведениях (F4-F3) и улучшением когнитивных функций, проявляющихся в повышении памяти и качества речи. Одновремен-

ТАБЛИЦА 3
ДИНАМИКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ
КОРКОВЫХ РИТМОВ.

Отведения ЭЭГ	До операции (r_{xy})	После операции (r_{xy})	Изменение
O2-A2 – O1-A1 (альфа-ритм)	0,678	0,329	↓ на 51,5 %
P4-A2 – P3-A1 (бета-ритм)	0,949	0,477	↓ на 49,7 %
T6-A2 – T5-A1 (альфа-ритм)	0,536	0,887	↑ на 65,5 %
C4-A2 – C3-A1 (дельта-ритм)	0,785	0,237	↓ 72,7 %
C4-A2 – C3-A1 (тета-ритм)	0,785	0,459	↓ 37,7 %

TABLE 3
DYNAMICS OF CORRELATION RELATIONSHIPS
OF CORTICAL RHYTHMS

но с этим, отмечается регресс хронической боли. Эти клинические наблюдения подтверждаются нормализацией бета-ритма, что свидетельствует о восстановлении нормального функционирования мозга. Слабая корреляция в лобных отведениях (Fp2-Fp1) требует проведения контрольного ЭЭГ-исследования через 3–6 месяцев для оценки динамики восстановления.

ОБСУЖДЕНИЕ

Метод электроэнцефалографии широко используется для диагностики вертеброгенных заболеваний [10, 12], однако в литературных источниках по оценке эффективности хирургического лечения встречаются противоречивые сведения [13, 14]. В проведённых нами исследованиях по использованию данных электроэнцефалограммы при хирургическом лечении моносегментарного стеноза шейного отдела позвоночника ЭЭГ является высокоинформативным методом оценки как исходного состояния, так и эффективности операции. Исходные данные определены патофизиологическим контекстом: стеноз шейного отдела позвоночника, особенно на уровне, где проходят позвоночные артерии (формирующие вертебро-базилярную систему и кровоснабжающие ствол мозга, затылочные и височные доли), приводит к хронической ишемии (недостатку кровоснабжения) головного мозга, в первую очередь в бассейне позвоночных артерий [1, 4]; нарушению венозного оттока и ликвородинамики, дисфункции стволовых и подкорковых структур, регулирующих синхронизацию активности коры (включая генерацию ритмов) [10, 15, 16]. Хирургическая декомпрессия направлена на устранение этих факторов.

Интегрированный анализ данных ЭЭГ и клиники (улучшение памяти и речи) после операции показал высокий уровень корреляции ($r_{xy} = 0,887$) в височных отведениях (F3-F4, F7-F8). По нашему мнению, данный показатель может являться главным маркером успеха операции, что совпадает с некоторыми литературными данными [17], поскольку снятие компрессии со спинного мозга и сосудов улучшило функцию ствола мозга (ретикулярная формация) и лимбической системы, что проявилось в синхро-

низации височных долей, улучшении памяти и регрессе хронической боли (лимбическая система участвует в эмоциональной оценке боли).

В затылочных, теменных, центральных отведениях отмечены умеренные корреляционные связи ($0,3 \leq r_{xy} < 0,5$), перечисленные зоны являются участками продолжающегося восстановления, и требуется время для стабилизации кровотока по позвоночным артериям после декомпрессии. Лобные и фронтально-полярные отведения (Fp2-Fp1, F4-F3) имели слабые корреляционные связи, что требует функциональной перестройки высшего контроля, так как префронтальная кора – самый молодой в эволюционном плане отдел, наиболее чувствительный к любым изменениям гемодинамики, иннервации и метаболизма.

Полученные в послеоперационном периоде ЭЭГ-данные – рост синхронности в височных отведениях и нормализация бета-ритма – в сочетании с клиническим улучшением позволили объективно подтвердить успех операции и определить дальнейшую тактику лечения и реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика межполушарных корреляций отражает сложный процесс реорганизации нейронных сетей после декомпрессии нервных образований. Проведённые исследования выявили характерные изменения биоэлектрической активности коры головного мозга в послеоперационном периоде, проявляющиеся снижением синхронности в сенсорных и ассоциативных зонах (теменных и затылочных областях) при одновременном повышении функциональной согласованности в височных отведениях. Полученные данные подтверждают выраженную пластичность мозга в раннем послеоперационном периоде и позволяют прогнозировать этапность восстановительных процессов (от стволовых структур к корковым отделам). Мониторинг этих изменений имеет важное значение для персонализации программ нейрореабилитации.

Клиническая значимость нейрофизиологических изменений: оперативное лечение моносегментарного стеноза шейного отдела позвоночника приводит

к достоверному улучшению как нейрофизиологических параметров, так и клинических показателей, что находит подтверждение при комплексном анализе данных ЭЭГ. Динамическое нейрофизиологическое исследование в периоперационном периоде позволяет идентифицировать ключевые изменения, ассоциированные с регрессом корешковой боли и восстановлением неврологических функций.

Практическое применение результатов: в настоящем исследовании установлена взаимосвязь между спектральными параметрами ЭЭГ (мощность тета- и бета-ритмов, показатели когерентности) и динамикой болевого синдрома (по шкале ВАШ) и неврологического дефицита. Выделены прогностические ЭЭГ-маркеры успешности оперативного вмешательства, среди которых особое значение имеет снижение мощности высокочастотной бета-активности, ассоциированной с хроническим болевым синдромом.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Парфёнов В.А., Яхно Н.Н., Кукушкин М.Л., Чурюканов М.В., Давыдов О.С., Головачёва В.А. и др. Острая неспецифическая (скелетно-мышечная) поясничная боль. Рекомендации Российского общества по изучению боли (РОИБ). *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2018; 10(2): 4-11. [Parfenov V.A., Yakhno N.N., Kukushkin M.L., Churyukanov M.V., Davydov O.S., Golovacheva V.A., et al. Acute nonspecific (musculoskeletal) low back pain. Guidelines of the Russian Society for the Study of Pain (RSSP). *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2018; 10(2): 4-11. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2018-2-4-11>
2. Кинаш И.Н., Верхозина Т.К., Ипполитова Е.Г., Цысляк Е.С. Изменения биоритмов головного мозга при функциональных пробах у пациентов со стенозом позвоночного канала шейного отдела. *Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2024; (6): 176-179. [Kinash I.N., Verhozina T.K., Ippolitova E.G., Tsylyak E.S. Changes in brain biorhythms during functional tests in patients with cervical spinal canal stenosis. *Sovremennaya nauka: Aktual'ny'e problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvenny'e i texnicheskie nauki*. 2024; (6): 176-179. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2024.06.20>
3. Fauchon C., Kim J.A., El-Sayed R., Osborne N.R., Rogachov A., Cheng J.C., et al. Exploring sex differences in alpha brain activity as a potential neuromarker associated with neuropathic pain. *Pain*. 2022; 163(7): 1291-1302. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002491>
4. Исайкин А.И., Акарачкова Е.А., Ахунов А.Н. Диагностика и лечение острой неспецифической боли в шейном отделе у лиц молодого возраста. *Эффективная фармакотерапия*. 2021; 17(29): 22-30. [Isaykin A.I., Akarachkova Ye.A., Akhunov A.N. Diagnosis and treatment of acute nonspecific pain in the cervical region in young people. *Effective Pharmacotherapy*. 2021; 17(29): 22-30. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2021-17-29-22-30>
5. Chouchou F., Perchet C., Garcia-Larrea L. EEG changes reflecting pain: Is alpha suppression better than gamma enhancement? *Neurophysiol Clin*. 2021; 51(3): 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2021.03.001>
6. Li S., Yang B., Dou Y., Wang Y., Ma J., Huang C., et al. Aided diagnosis of cervical spondylotic myelopathy using deep learning methods based on electroencephalography. *Med Eng Phys*. 2023; 121: 104069. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2023.104069>
7. Furman A.J., Prokhorenko M., Keaser M.L., Zhang J., Chen S., Mazaheri A., et al. Sensorimotor peak alpha frequency is a reliable biomarker of prolonged pain sensitivity. *Cereb Cortex*. 2020; 30(12): 6069-6082. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa124>
8. Furman A.J., Meeker T.J., Rietschel J.C., Yoo S., Muthulingam J., Prokhorenko M., et al. Cerebral peak alpha frequency predicts individual differences in pain sensitivity. *Neuroimage*. 2018; 167: 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.042>
9. Julkunen P., Kimiskidis V.K., Belardinelli P. Bridging the gap: TMS-EEG from lab to clinic. *J Neurosci Methods*. 2022; 369: 109482. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2022.109482>
10. Артемова Н.М., Павлова Н.П., Максимцева Е.А. и др. *Клиническая электроэнцефалография: учебное пособие для врачей функциональной диагностики и неврологов*. Рязань: ООП УИТТиОП, 2020. [Artemova N.M., Pavlova N.P., Maksimceva E.A., et al. *Clinical electroencephalography: a training manual for functional diagnostic physicians and neurologists*. Ryazan: OOP UITTiOP, 2020. (In Russ.)].
11. Панасевич Е.А., Трифонов М.И. Прогнозирование успешной когнитивной деятельности на основе интегральных характеристик ЭЭГ. *Физиология человека*. 2018; 44(2): 103-111. [Panasevich E.A., Trifonov M.I. Prediction of successful cognitive activity based on integral EEG characteristics. *Fiziologiya cheloveka*. 2018; 44(2): 103-111. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.7868/S0131164618020145>
12. Ma K., Coutin M., Kim T., Koht A. Correlation between processed electroencephalogram and clinical findings during wake-up test in prone position for scheduled posterior cervical spine surgery: A case report. *AA Pract*. 2020; 14(6): e01170. <https://doi.org/10.1213/XAA.0000000000001170>
13. Mummaneni P.V., Kaiser M.G., Matz P.G., Anderson P.A., Groff M., Heary R., et al. Preoperative patient selection with magnetic resonance imaging, computed tomography, and electroencephalography: Does the test predict outcome after cervical surgery? *J Neurosurg Spine*. 2009; 11(2): 119-129. <https://doi.org/10.3171/2009.3.SPINE08717>
14. Li S., Yang B., Dou Y., Wang Y., Ma J., Huang C., et al. Aided diagnosis of cervical spondylotic myelopathy using deep learning methods based on electroencephalography. *Med Eng Phys*. 2023; 121: 104069. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2023.104069>
15. Wilson B., Curtis E., Hirshman B., Oygur A., Chen K., Gabel B.C., et al. Lateral mass screw stimulation thresholds in posterior cervical instrumentation surgery: A predictor of medial deviation. *J Neurosurg Spine*. 2017; 26(3): 346-352. <https://doi.org/10.3171/2016.8.SPINE16580>

16. Frank S.I., Mylavarapu R.V., Widerstrom-Noga E., Vastano R. Early body representation EEG signals in cervical vs. thoracic spinal cord injuries with neuropathic pain. *Brain Res.* 2025; 1858: 149658. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2025.149658>

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования

Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Вклад авторов

Сороковиков В.А. – обоснование концепции исследования (формулирование идеи, исследовательских целей и задач).
Кинаш И.Н. – разработка методологии исследования, создание модели исследования, проведение ЭЭГ-исследований, статистическая обработка данных.
Ипполитова Е.Г. – сбор данных литературы, анализ и обобщение.
Верхозина Т.К. – анализ и обобщение результатов исследований.
Цысляк Е.С. – оформление статьи.

Информация об авторах

Сороковиков Владимир Алексеевич – д.м.н., профессор, директор, Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия; заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, 664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9008-6383>

Кинаш Ирина Николаевна – научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7125-9984>

Ипполитова Елена Геннадьевна – научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7292-2061>

Верхозина Татьяна Константиновна – к.м.н., заведующая отделением функциональных методов диагностики и лечения, Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия; доцент кафедры рефлексотерапии и косметологии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, 664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3136-5005>

Цысляк Елена Сергеевна – научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5240-6454>

Для переписки

Цысляк Елена Сергеевна, helenasergeevna@mail.ru

Получена 13.09.2025
Принята 23.10.2025
Опубликована 10.12.2025

17. Mathews D.M., Rahman S.S., Cirullo P.M., Malik R.J. Increases in bispectral index lead to interventions that prevent possible intraoperative awareness. *Br J Anaesth.* 2005; 95(2): 193-196. <https://doi.org/10.1093/bja/aei162>

Conflict of interest

The authors declare no apparent or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Funding source

The authors declare no external funding for the study and publication of the article.

Authors' contribution

Sorokovikov V.A. – justification of the research concept (formulation of the idea, research goals and objectives).
Kinash I.N. – development of the research methodology, creation of the research model, conducting EEG studies, statistical data processing.
Ippolitova E.G. – collection of literature data, analysis and generalization.
Verkhovina T.K. – analysis and generalization of research results.
Tsyslyak E.S. – article design.

Information about the authors

Vladimir A. Sorokovikov – Dr. Sci. (Med.), Professor, Director, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, 664003, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str., 1, Russian Federation; Head of the Department of Traumatology, Orthopedy and Neurosurgery, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 664049, Irkutsk, Yubileyniy, 100, Russian Federation.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9008-6383>

Irina N. Kinash – Researcher at the Scientific and Clinical Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, 664003, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str., 1, Russian Federation.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7125-9984>

Elena G. Ippolitova – Researcher at the Scientific and Clinical Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, 664003, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str., 1, Russian Federation.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7292-2061>

Tatiana K. Verkhovina – Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Functional Diagnostics and Treatment, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, 664003, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str., 1, Russian Federation; Associate Professor at the Department of Reflexotherapy and Cosmetology, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 664049, Irkutsk, Yubileyniy, 100, Russian Federation.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3136-5005>

Elena S. Tsyslyak – Researcher at the Scientific and Clinical Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, 664003, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str., 1, Russian Federation.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5240-6454>

Corresponding author

Elena S. Tsyslyak, helenasergeevna@mail.ru

Received 13.09.2025
Accepted 23.10.2025
Published 10.12.2025