

Особенности показателей электроэнцефалографии и реоэнцефалографии у пациентов со стойким болевым синдромом на примере поясничного спинального стеноза

Кинаш Ирина Николаевна, кандидат биологических наук
Ипполитова Елена Геннадьевна, научный сотрудник
Кошкарёва Зинаида Васильевна, кандидат медицинских наук
ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»
Верхозина Татьяна Константиновна, кандидат медицинских наук, доцент
Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал
ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия
непрерывного профессионального образования» Минздрава России

Аннотация. Целью исследования явилось изучение основных корковых ритмов электроэнцефалограммы во взаимосвязи с показателями мозгового кровообращения у пациентов нейрохирургического отделения ФГБНУ ИНЦХТ с болевым синдромом при поясничном спинальном стенозе.

При поясничном спинальном стенозе у пациентов регистрируются изменения ритмов ЭЭГ, указывающие на состояние общего напряжения организма. Анализ показателей корреляции между значениями ЭЭГ и реоэнцефалографии в группе пациентов с поясничным спинальным стенозом выявил рассогласование внутрисистемных связей, что предполагает снижение уровня резервных возможностей организма.

Ключевые слова: поясничный спинальный стеноз, биопотенциалы мозга, реоэнцефалография

DOI: 10.5281/zenodo.5796892

Введение. Боли в спине испытывают около 90% людей. Болевой синдром при заболевании позвоночника стоит на втором месте по распространённости после головной боли [1, 2]. При продолжительной, изнуряющей боли часто страдают структуры центральной нервной системы (ЦНС) вследствие длительного непрекращающегося потока болевой импульсации от повреждённого органа. Довольно часто, когда первоначальная причина болезни уже отсутствует, болевой синдром продолжает беспокоить, постепенно становясь самостоятельным заболеванием [3,4].

Исследование специфики биоритмов мозга у пациентов с нейропатическим болевым синдромом позволяет подумать о первичности изменений в фоновой электроэнцефалограмме, которые вызваны не влиянием повреждения, а уже существующей дисфункцией корковой ритмики [5, 6]. У таких пациентов изменения в структуре ЭЭГ регистрируются и при отсутствии болевого синдрома [7, 8, 9]. В наших предыдущих исследованиях было отмечено, что стойкий невропатический болевой синдром у пациентов, страдающих остеохондрозом шейного отдела позвоночника, приводит к появлению признаков хронического эмоционального напряжения и изменению характера ритмов ЭЭГ [10].

Использование метода электроэнцефалографии (ЭЭГ) позволяет выделить отдельные показатели – маркеры выраженности болевого синдрома [11, 12]. В исследованиях последних лет [13, 14] было показано, что в качестве биомаркеров могут использоваться характеристики отдельных ЭЭГ-ритмов (дельта-, тета-, альфа-, бета-ритмов).

Влияние стойкого болевого синдрома на формирование и характер ритмов ЭЭГ при поясничном спинальном стенозе остаётся вопросом, требующим изучения. В исследованиях ряда авторов сообщается об изменениях основных ритмов ЭЭГ у пациентов с остеохондрозом шейного отдела позвоночника с выраженными клиническими проявлениями [10]. В доступной литературе мы не встретили данных по определению активности структур головного мозга у больных с поясничным спинальным стенозом, хотя подобные исследова-

ния имеют важное прогностическое значение для формирования комплекса лечебных и реабилитационных мероприятий, что и определило цель нашего исследования.

Цель исследования. Изучение основных корковых ритмов электроэнцефалограммы во взаимосвязи с показателями мозгового кровообращения у больных со стойким болевым синдромом при поясничном спинальном стенозе.

Материалы и методы. Обследована группа пациентов нейрохирургического отделения ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (28 человек) со стенозом поясничного отдела позвоночника на уровне L_{III}-L_{IV}, L_{IV}-L_V, L_V-S_I, имеющих выраженные клинические проявления заболевания, и группа практически здоровых людей (25 человек). В основную группу вошли 11 женщин и 17 мужчин, в контрольную группу – 15 женщин и 10 мужчин. Средний возраст пациентов составил 47 лет в основной группе и 39 лет – в контрольной. При субъективном и объективном обследовании у всех пациентов основной группы были выявлены болевые и мышечно-тонические синдромы, клиника радикулоневритов L₄, L₅, S₁, синдром каудогенной перемежающейся хромоты – у 8 пациентов. При рентгенологическом обследовании поясничного отдела позвоночника были выявлены: спондилез, спондилоартроз – у 28 пациентов; рубцово-спаечный эпидурит – у 11; костно-хрящевые узлы на уровне позвоночно-двигательных сегментов L_{III}-L_{IV}, L_{IV}-L_V, и L_V-S_I – у 17. Болевой синдром (6–7 баллов по ВАШ) был выражен у всех пациентов и имел постоянный характер. Обследованные контрольной группы считали себя практически здоровыми, в анамнезе не имели заболеваний позвоночника и суставов.

Исследования проведены на аппарате ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (Таганрог). Скальповые ЭЭГ-электроды накладывались по системе «10–20», рекомендованной Международной федерацией клинической нейрофизиологии (IFCN, International Federation of Clinical Neurophysiology). Исследованы наличие и характер альфа-, бета-, дельта- и тета-волн. Реоэнцефалография (РЕГ) проведена на стандартной установке НШЭ-03, изучалось состояние кровотока в бассейне общей сонной артерии (фронтально-мастоидальное отведение –

FM) и позвоночной артерии (окципито-мастоидальное отведение – OM). Анализировались показатели: время распространения пульсовой волны (ВРПВ), позволяющее определить объемное пульсовое кровенаполнение сосудистого русла, и показатель периферического сопротивления сосудов (ППСС), характеризующий тонус артерий сопротивления мелкого и среднего калибров.

Статистический анализ проведен с помощью программы IBM SPSS 21. Корреляционный анализ проведен по методу Спирмена для малой выборки.

Материалы одобрены комитетом по биомедицинской этике ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии».

Результаты исследования. В группах обследованных проведено изучение характера альфа-, бета-, дельта- и тета-волн, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. Мощность основных ритмов ЭЭГ у пациентов основной и контрольной групп.

Ритмы ЭЭГ	Пациенты со стенозом (n = 28)				Контрольная группа (n = 25)	
	A (мкВ), d	A (мкВ), s	F (Гц), d	F (Гц), s	A (мкВ)	F (Гц)
Альфа-ритм	43 ± 7,0*	54 ± 6,4	8,0 ± 4,0	8,3 ± 3,6	68 ± 8,1	11 ± 3,6
Бета-ритм	21 ± 3,3	18 ± 4,0	16,0 ± 0,8	14,9 ± 1,0	25 ± 5,6	28 ± 4,2
Дельта-ритм	34 ± 6,5*	27 ± 7,7	2,5 ± 0,6	2,8 ± 0,5	22 ± 4,2	1,2 ± 0,4
Тета-ритм	27 ± 6,0*	31 ± 7,0	6,1 ± 0,8	6,6 ± 0,6	10 ± 2,5	1,8 ± 0,6

Примечание. * – различия между группами статистически значимы (по критерию Стьюдента); A – амплитуда; F – частота

В группе пациентов со стенозом поясничного канала наблюдается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение амплитуды альфа-ритма, что возможно при повышении функциональной активности мозга. Наблюдается небольшая (<30%) асимметрия амплитуды альфа-ритма правого и левого полушарий, частота ритма (8,0±4,0Гц справа и 8,5±3,6Гц слева) была незначительно ниже, чем в контрольной группе. При анализе дельта- и тета-ритмов отмечено, что их амплитуда была статистически значимо ($p < 0,05$) выше, а частота волн ниже, чем в контрольной группе. Появление медленных ритмов (тета- и дельта-диапазонов) относят к патологическим процессам ЭЭГ: дистрофическим, демиелинизирующим и дегенеративным изменениям головного мозга.

При исследовании показателей РЭГ в основной и контрольной группах (табл. 2) во фронто-мастоидальном и окципито-мастоидальном отведениях отмечается увеличение объемного пульсового кровенаполнения с коэффициентом асимметрии 26,8%. Прослеживаются тенденции к изменению тонуса резистивных сосудов (умеренное повышение справа), облегчению венозного оттока на 10% и уменьшению тонуса артерий мелкого калибра и артериол на 15%. Подобные изменения РЭГ могут указывать на нарушение кровообращения в вертебро-базиллярном бассейне.

Таблица 2. Показатели реоэнцефалографии у пациентов основной и контрольной групп.

Показатели	Пациенты со стенозом (n = 28)				Контрольная группа (n = 25)			
	FM		OM		FM		OM	
	dex	sin	dex	sin	dex	sin	dex	sin
ППСС (%)	71	69	73	72	64	65	65	68
ВРПВ (мс)	172	170	168	161	133	138	140	142
ИВО (%)	18	18	14	12	16	17	8	12

Примечание. FM – фронто-мастоидальное отведение; OM – окципито-мастоидальное отведение; ППСС – показатель периферического сопротивления сосудов; ВРПВ – время распространения пульсовой волны; ИВО – индекс венозного оттока; dex – справа; sin – слева

В наших предыдущих исследованиях [10] в группе больных с шейным остеохондрозом продемонстрировано рассогласование внутрисистемных связей, снижение ведущего альфа-ритма, увеличение мощности бета- и тета- ритмов при повышении периферического сосудистого сопротивления, в большей степени выраженное в вертебро-базиллярном бассейне. При изучении подобных показателей ЭЭГ и РЭГ на примере группы пациентов с поясничным спинальным стенозом проведен корреляционный анализ, который выявил в основной группе во фронто-мастоидальном отведении РЭГ снижение мощности альфа-ритма (средняя корреляция ($r=0,28$) между ППСС на РЭГ и альфа-ритмом на ЭЭГ), нарастание мощности волн бета-, тета- и дельта-диапазонов

наряду с повышением периферического сосудистого сопротивления.

Корреляционный анализ в основной группе во фронто-мастоидальном отведении слева (рис. 1) выявил слабую положительную связь между ППСС и альфа-ритмом ($r=0,28$); отрицательные связи – между ППСС и бета- ($r=-0,27$), дельта- ($r=-0,28$) и тета-ритмами ($r=-0,39$). При выраженной положительной связи ППСС и ВРПВ ($r=0,67$) выявлены слабая отрицательная связь ($r=-0,29$) между ВРПВ и альфа-ритмом, средняя отрицательная связь ($r=-0,23$) – между ВРПВ и бета-ритмом, положительная связь ($r=0,57$) – между ВРПВ и дельта-ритмом и сильная отрицательная связь между ВРПВ и тета-ритмом ($r=0,41$), то есть имело место межсистемное рассогласование (рис. 1).

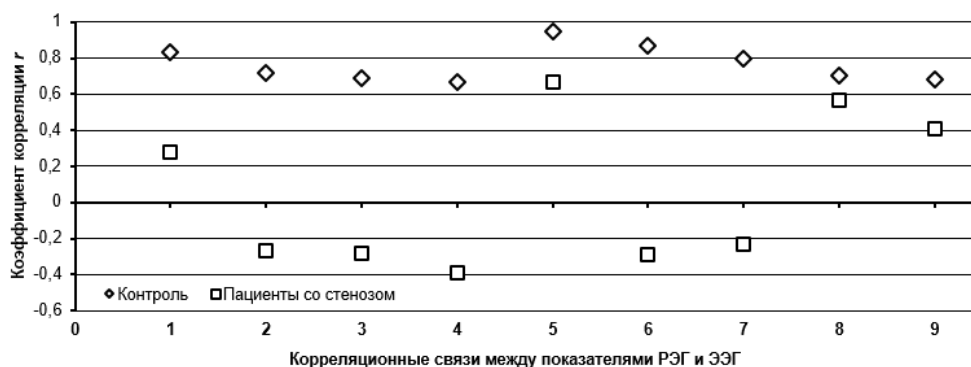


Рис. 1 Взаимосвязь показателей ЭЭГ и РЭГ в основной и контрольной группе (фронтально-мастоидальное отведение). Корреляционные связи: 1 – ППСС с альфа-ритмом; 2 – ППСС с бета-ритмом; 3 – ППСС с дельта-ритмом; 4 – ППСС с тета-ритмом; 5 – ППСС с ВРПВ; 6 – ВРПВ с альфа-ритмом; 7 – ВРПВ с бета-ритмом; 8 – ВРПВ с дельта-ритмом; 9 – ВРПВ с тета-ритмом.

Выполнение оценки корреляции во фронтально-мастоидальном отведении справа выявило наличие отрицательных связей между ППСС и альфа-ритмом ($r=-0,35$), ППСС и бета-ритмом ($r=-0,41$), ППСС и дельта-ритмом ($r=-0,25$), ППСС и тета-ритмом ($r=-0,31$). Отмечена сильная положительная связь между ППСС и ВРПВ ($r=0,84$). Корреляции ВРПВ – альфа-ритм ($r=-0,28$) (межсистемное рассогласование) и ВРПВ – дельта-ритм ($r=-0,27$) были слабыми. Отрицательное среднее значение имела корреляционная связь ВРПВ – бета-ритм ($r=-0,52$). Сильная положительная связь отмечена между ВРПВ и тета-ритмом ($r=0,58$). Возникновение непрочных корреляционных связей между показателями РЭГ и ЭЭГ указывает на межсистемную и внутрисистемную рассогласованность в бассейне общей сонной артерии [8, 9] и биоэлектрической активности в лобно-височно-центральных областях головного мозга [10].

В окципито-мастоидальном отведении слева (рис. 2) у пациентов со стенозом отмечено наличие средней корреля-

ционной связи между ППСС и альфа-ритмом ($r=0,35$), сильной отрицательной связи между ППСС и бета-ритмом ($r=-0,58$), слабой положительной связи между ППСС и дельта-ритмом ($r=0,31$), сильной отрицательной связи между ППСС и дельта-ритмом ($r=-0,42$). Отмечается сильная связь между ППСС и ВРПВ ($r=0,54$), слабая положительная связь между ВРПВ и альфа-ритмом ($r=0,23$), слабые отрицательные связи между ВРПВ и бета-ритмом ($r=-0,23$) и ВРПВ и дельта-ритмом ($r=-0,21$), слабая положительная связь между ВРПВ и тета-ритмом ($r=0,27$).

В окципито-мастоидальном отведении справа выявлены средние отрицательные корреляционные связи между ППСС и альфа-ритмом ($r=-0,31$), ППСС и бета-ритмом ($r=0,38$), ППСС и дельта-ритмом ($r=-0,29$), ППСС и тета-ритмом ($r=0,42$); средняя положительная связь выявлена между ППСС и ВРПВ ($r=0,45$), слабые отрицательные корреляционные связи – между ВРПВ и альфа-ритмом ($r=-0,26$), ВРПВ и дельта-ритмом ($r=-0,32$), средняя связь – между ВРПВ и бета-ритмом ($r=0,39$).

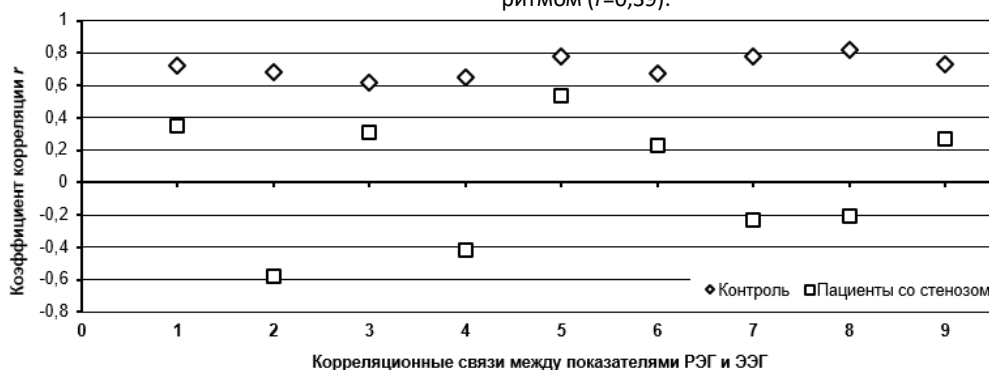


Рис. 2. Взаимосвязи показателей ЭЭГ и РЭГ в основной и контрольной группе (окципито-мастоидальное отведение). Корреляционные связи: 1 – ППСС с альфа-ритмом; 2 – ППСС с бета-ритмом; 3 – ППСС с дельта-ритмом; 4 – ППСС с тета-ритмом; 5 – ППСС с ВРПВ; 6 – ВРПВ с альфа-ритмом; 7 – ВРПВ с бета-ритмом; 8 – ВРПВ с дельта-ритмом; 9 – ВРПВ с тета-ритмом.

Полученные данные свидетельствуют о нарушении взаимосвязи ритмов ЭЭГ и показателей гемодинамики в системе позвоночной артерии, в большей степени в правом полушарии, что говорит о низком уровне резервных возможностей.

При проведении анализа корреляционных связей между показателями ЭЭГ и РЭГ в группе контроля зафиксированы высокие положительные корреляционные связи во фронтально-мастоидальном отведении между ППСС и альфа-ритмом ($r=0,83$), бета-ритмом ($r=0,72$), тета-ритмом ($r=0,67$), дельта-ритмом ($r=0,69$). В окципито-мастоидальном отведении определена средняя корреляционная связь ППСС с альфа-ритмом ($r=0,38$), отрицательная связь с бета-ритмом ($r=-0,59$), слабая связь с дельта-ритмом ($r=0,04$) и отрицательная

связь с тета-ритмом ($r=-0,4$). Отмечаются сильная корреляционная связь ППСС и ВРПВ ($r=0,75$), низкая связь ВРПВ и альфа-ритма ($r=0,07$), низкие отрицательные связи ВРПВ и бета-ритма ($r=-0,11$) и дельта-ритма ($r=-0,16$), низкая положительная связь ВРПВ и тета-ритма ($r=0,023$). В правом полушарии отмечены достаточно устойчивые связи ППСС с альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмами ($r=0,28-0,43$); стабильная связь ВРПВ с альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмами ($r=0,25-0,43$). Коэффициент корреляции между показателями ВРПВ и ППСС имел значения от 0,70 до 0,75, тем самым указывая на наличие сильной корреляционной связи.

В контрольной группе имеет место межсистемная согласованность основных показателей гемодинамики и биоэлектрической активности головного мозга, отражающая высокий уровень резервных возможностей организма [6, 7].

Обсуждение результатов исследования. Механизм развития болевого синдрома основан на ноцицептивной стимуляции клеток задних рогов спинного мозга [3, 12]. Болевые синдромы при стенозирующих процессах в поясничном отделе также могут развиваться в результате возникновения очага возбуждения в виде групп гиперактивных нейронов, которые генерируют усиленное возбуждение в патологической алгической системе [13]. Нейровизуализацией интенсивности болевого синдрома могут служить изменения ритмики биопотенциалов головного мозга, полученные с помощью проведения ЭЭГ у пациентов со стойким болевым синдромом при стенозе поясничного отдела позвоночника. В результате наших исследований были получены данные о снижении мощности альфа-ритма и появлении медленных волн дельта- и тета-диапазонов. Дальнейшие исследования позволили изучить взаимосвязь показателей ЭЭГ и РЭГ в основной и контрольной группах. Прочность корреляционных связей между показателями ЭЭГ и РЭГ в группе контроля свидетельствует о достаточных адаптационных возможностях организма.

У пациентов с поясничным спинальным стенозом с выраженным болевым синдромом выявляется рассогласование внутри- и межсистемных связей (чёткие различия корреляций, разнонаправленность связей). Изменения коэффициентов корреляции показателей ЭЭГ и РЭГ были характерны для

правой и левой центральных зон, а также для задневисочных и затылочных отделов правого полушария. Максимальные изменения были отмечены в вертебро-базиллярном бассейне справа. Таким образом, проведение одновременной регистрации показателей биопотенциалов мозга и церебральной гемодинамики у пациентов со стенозом поясничного отдела позвоночника с выраженным болевым синдромом позволяет выявить взаимосвязь биоритмов мозга с гемодинамикой, которая может характеризовать состояние резистентности организма. Рассогласованность связей у больных этой группы свидетельствует об изменениях устойчивости организма к стрессовым ситуациям, в частности к болевому синдрому.

Заключение. В группе пациентов со стойким болевым синдромом при поясничном спинальном стенозе регистрируются изменения ритмов ЭЭГ: снижение мощности ведущего альфа-ритма и увеличение амплитуды дельта- и тета-ритмов, указывающие на состояние общего напряжения организма. Анализ показателей корреляции между значениями ЭЭГ и РЭГ в группе пациентов со стенозом поясничного отдела позвоночника выявил рассогласование внутрисистемных связей, что предполагает снижение уровня резервных возможностей организма. Применение единовременной регистрации данных церебральной гемодинамики и биопотенциалов мозга у пациентов со стенозом поясничного отдела позвоночника позволит клиницистам правильно оценить характер болевого синдрома, что имеет важное значение в назначении адекватного лечения и прогнозировании течения заболевания.

Литература:

1. Всемирная организация здравоохранения. *Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем*. М.: Медицина; 2003; 1
2. Коробов М.В., Войтенко Р.М., Дубинина И.А., Макаров А.Ю., Макарова О.В., и др. *Справочник по медико-социальной экспертизе и реабилитации*. 2017
3. Панасевич Е.А., Трифионов М.И. Прогнозирование успешной когнитивной деятельности на основе интегральных характеристик ЭЭГ. *Физиология человека*. 2018; 2(44): 103-111. doi:10.7868/S0131164618020145
4. Яхно Н.Н., Подчуфарова Е.В. (ред.). *Европейские рекомендации по лечению неспецифической боли в пояснично-крестцовой области в условиях первичной медицинской помощи*. М.: Практическая медицина; 2010
5. Cohen MX. Where does EEG come from and what does it mean? *Trends Neurosci*. 2017; (4): 208-218. doi:10.1016/j.tins.2017.02.004
6. Пашков А.А., Дахтин И.С., Харисова Н.С. Электроэнцефалографические биомаркеры экспериментально индуцированного стресса. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология»*. 2017; 10(4): 68-82
7. Grabner RH, Fink A, Neubauer AC. Brain correlates of self-rated originality of ideas: Evidence from event-related power and phase-locking changes in the EEG. *Behavioral Neurosci*. 2007; (121.1): 224-230
8. Smith BN, Torrance N. Epidemiology of neuropathic pain and its impact on quality of life. *Curr. Pain Headache Rep*. 2012; 16(3): 191-198
9. Зенков Л.Р. *Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии)*. Руководство для врачей. М.: Медпресс; 2018
10. Кинаш И.Н., Верхозина Т.К., Ипполитова Е.Г. Взаимосвязь показателей церебральной гемодинамики и биоэлектрической активности мозга у пациентов с остеохондрозом шейного отдела позвоночника. *Acta biomedica scientifica*. 2020; 5(2): 28-35
11. Dunkley BT, Sedge PA, Doesburg SM, Grodecki RJ, Jetly R, Shek PN, et al. Theta, mental flexibility, and post-traumatic stress disorder: connecting in the parietal cortex. *PLoS One*. 2015; (4): 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0123541
12. Hovatta I, Juhila J, Donner J. Oxidative stress in anxiety and comorbid disorders. *Neurosci. Res*. 2010; 68(4): 261-275
13. Barichello T, Howes OD. Stress and neuroinflammation: A systematic review of the effects stress on microglia and the implications for mental illness. *Psychopharmacology*. 2016; (9): 1637-1650. doi: 10.1007/s00213-016-4218-9
14. Koolhaas JM, Bartolomucci A, Buwalda B, de Boer SF, Flügge G, Korte SM, et al. Stress revisited: A critical evaluation of stress concept. *Neurosci. Biobehav. Rev*. 2011; 35(5): 1291-301. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.02.003