

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека

В.А. Семилетова¹, Е.В. Дорохов¹, Я.В. Булгакова²¹ Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Воронеж, Российская Федерация;² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Спелеотерапия — один из комплексных немедикаментозных методов воздействия для сохранения и укрепления здоровья. Адаптационные механизмы его влияния на организм человека изучены недостаточно.

Цель. Исследование кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека.

Материалы и методы. Обследовано 25 студентов-добровольцев, каждый из которых был информирован о цели исследования, подписав согласие на участие в эксперименте. У студентов экспериментальной группы регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) проведена до и после двухчасового спелеотерапевтического воздействия с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26». У студентов контрольной группы регистрация ЭЭГ проведена до и после двухчасового отдыха в неработающей спелеокамере. Индексы соотношения ритмов ЭЭГ были рассчитаны как отношения мощностей отдельных ритмов: альфа/тета, альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1. Анализ полученных данных проведён с помощью программ Excel и IBM SPSS Statistics 26.0.

Результаты. Выявлены значимые изменения индекса альфа/тета ЭЭГ в отведениях P4, T6 и O2 под влиянием спелеопроцедуры, чего не наблюдалось в контрольной группе. Этот индекс оказался наиболее чувствительным для оценки влияния спелеотерапии на мозг человека.

Заключение. Из всех проанализированных индексов наиболее чувствительным для оценки влияния процедуры спелеотерапии на мозг человека является индекс альфа/тета, при этом значимых отличий по индексам альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 у испытуемых под влиянием спелеотерапии не выявлено, в то время как в контрольной группе наблюдались значимые изменения по данным индексам в отведении O2.

Ключевые слова: спелеотерапия; электроэнцефалография; ЭЭГ; ритм; мощность; индекс; альфа/тета.

Как цитировать:

Семилетова В.А., Дорохов Е.В., Булгакова Я.В. Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 223–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain

Vera A. Semiletova¹, Eugene V. Dorohov¹, Yaroslava V. Bulgakova²

¹ Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russian Federation;

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Speleotherapy is a non-drug therapeutic approach that involves spending time in underground caves or mines with health promotion purpose. However, adaptation mechanisms of the human body and the effects of speleotherapy in healthy brain remain largely unknown.

AIM: To study changes in the functional state of the brain of a healthy person in terms of EEG activity parameters under the speleotherapy exposure.

MATERIALS AND METHODS: The study involved a group of 25 student volunteers who were informed about the study's purpose, agreed to participate in the experiment and signed the informed consent. In the experimental group, EEG registration was carried out before and after a 2-hour speleotherapeutic exposure using the "Encephalan-EEGR-19/26" electroencephalograph-recorder. In the control group, EEG was taken before and after a 2-hour rest in a switched off speleological chamber. EEG rhythm ratio indices were calculated as ratios of the power of alpha/theta, alpha/beta1, and (theta + alpha)/beta1 rhythms. Data analysis was carried out using MS Excel and IBM SPSS Statistics v. 26.0 software.

RESULTS: Significant changes in the EEG alpha/theta index in P4, T6 and O2 leads were observed in the experimental group, but not in the control group. The alpha/theta index appeared to be the most sensitive to speleotherapy. No other significant differences between the groups were found.

CONCLUSION: There were no significant differences in the alpha/beta1 and (theta + alpha)/beta1 indices in the subjects undergoing the speleotherapy procedure, while there were significant changes in these indices in O2 derivation in the control group. The alpha/theta index is the most sensitive indicator for assessing the effect of speleotherapy on the healthy human brain.

Keywords: speleotherapy; electroencephalography; EEG; rhythm; power; index; alpha/theta.

To cite this article:

Semiletova VA, Dorohov EV, Bulgakova YaV. Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):223–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

ОБОСНОВАНИЕ

Спелеотерапия — один из комплексных немедикаментозных методов с доказанной эффективностью, обеспечивающих сохранение и укрепление здоровья человека [1–3]. Благоприятное воздействие спелеоклимата на организм связывают с уникальными климатическими условиями пребывания человека в спелеосреде: качеством воздуха (он насыщен аэрозолями с большим количеством положительных и особенно отрицательных аэроионов — натрия, магния, хлора и др.), пониженной температурой и повышенной влажностью, воздействием небольшого фона естественной радиации, положительным эмоциональным фоном [4].

Спелеокамеры функционируют во многих поликлиниках, санаториях, на производственных предприятиях. Взрослое и детское население активно оздоравливается после перенесённых сезонных вирусных бронхолёгочных заболеваний, проходит профилактическое лечение [5]. Изучаются тонкие механизмы воздействия спелеоклимата на организм человека, которые не являются столь уж однозначными. Например, динамику кардиоритма под влиянием спелеотерапии в 30% случаев сложно оценить как положительную (увеличение индекса напряжения (ИН), усиление влияния симпатической системы у симпатотоников и парасимпатической — у ваготоников и др.), при самооценке пациентом влияния на его организм спелеотерапии не всегда оценка бывает «хорошей» и «отличной» [4, 6, 7].

Показано, что одним из первых на изменение состава воздуха реагирует мозг человека, поэтому особенно интересным представляется исследовать изменения электрической активности головного мозга под влиянием кратковременного воздействия спелеотерапии. При этом полученные нами в более ранних исследованиях [5, 6] результаты изменения параметров электроэнцефалограммы (ЭЭГ) после процедуры спелеотерапии можно интерпретировать как состояние умеренного стресса. Так, выявлены изменения в мощности тета- и альфа-ритмов в затылочных и теменных отведениях под кратковременным влиянием спелеотерапии. После спелеовоздействия активность доминирующего в состоянии покоя правого полушария в большинстве областей снижалась. В функциональном состоянии покоя при закрытых глазах количество значимых корреляционных связей мощности тета-ритма снизилось после спелеотерапии как в правом, так и в левом полушарии головного мозга. При этом в правом полушарии после спелеопроцедуры количество значимых корреляционных связей осталось более высоким, чем в левом, что можно рассматривать также как состояние умеренного напряжения [6]. Однако соотношение ритмов ЭЭГ не рассматривалось, хотя именно индексы (альфа/бета, альфа + тета/альфа + бета, тета/бета) наиболее чувствительны к изменениям функционального состояния, отражают степень напряжения, уровень произвольного внимания, степень когнитивной нагрузки и утомления

человека, скорость протекания информационных процессов [8, 9].

Цель. Исследование влияния кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов ЭЭГ здорового человека.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 25 студентов-добрывольцев II курса Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко, правши, возраст — 18–20 лет (15 человек экспериментальной группы и 10 человек контрольной группы). Рассчитанная по формуле Лера минимальная выборка для нашего исследования должна составлять 10 человек. Критерии включения в контрольную и экспериментальную группы: отсутствие острого периода вирусной или бактериальной инфекции, обострения хронических заболеваний, изменения анатомии носовых ходов.

Исследование соответствовало этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» с поправками 2013 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Участники были информированы о цели исследования и добровольно подписали согласие на участие. Работа проведена в межсессионный период, все процедуры выполняли в первой половине дня (с 8:00 до 12:00).

У студентов экспериментальной группы запись ЭЭГ проведена до и после 2-часовой спелеотерапевтической процедуры, в состоянии функционального покоя с закрытыми глазами (по 60 с), с использованием малой спелеокамеры (на одного человека), с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» («Медиком», Россия), в 19 стандартных отведениях по международной схеме 10–20. Согласно проведённым в используемой спелеокамере замерам при выполнении исследований температура воздуха составляла 18–20 °С, относительная влажность воздуха — 65%, содержание отрицательных аэроионов — 987 е/см³, положительных аэроионов — 834 е/см³, радиационный фон — 17 мкР/час.

У студентов контрольной группы запись ЭЭГ проведена до и после двухчасового отдыха в неработающей спелеокамере, в состоянии функционального покоя с закрытыми глазами (по 60 с) с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» («Медиком», Россия), в 19 стандартных отведениях по международной схеме 10–20. Согласно проведённым в используемой спелеокамере замерам при выполнении исследований температура воздуха составляла 18–20 °С, относительная влажность воздуха — 65%, содержание отрицательных

аэроионов — 476 е/см³, положительных аэроионов — 323 е/см³, радиационный фон — 17 мкР/ч.

Полученные ЭЭГ были просканированы на наличие артефактов, которые устранялись вручную. Эпохи для анализа выбирали на основании отсутствия артефактов в записи. Длина одной эпохи — 5 с, количество эпох для анализа одной пробы — 5. Индексы соотношения ритмов ЭЭГ были рассчитаны как отношения мощностей отдельных ритмов: альфа/тета, альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 [8].

Статистическая обработка. Анализ полученных данных проведён с помощью программ Excel и IBM SPSS Statistics 26.0. Определена нормальность распределения признаков с использованием критерия Шапиро–Уилка. Поскольку полученные показатели в большинстве своём не имели нормального распределения, расчёт статистической значимости различий значений выполнен с использованием непараметрического критерия Уилкоксона для зависимых переменных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистический анализ индексов альфа/тета в контрольной группе по отдельным отведениям приведён в табл. 1. Значимых отличий по индексу альфа/тета до и после отдыха в этой группе не выявлено, что связано, на наш взгляд, с большой вариабельностью данного параметра у разных испытуемых. При этом слева наблюдалась тенденция к уменьшению медиан индексов альфа/тета в большинстве отведений, справа — в равной степени к уменьшению и к увеличению.

Выявлены статистически значимые изменения индексов альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 в затылочной

области справа под влиянием отдыха (контрольная группа). Их медианы увеличиваются ($p < 0,05$), интерквартильный размах также увеличивается (рис. 1). Можно утверждать, что под влиянием двухчасового отдыха в неработающей спелеокамере справа в затылочной области наблюдалось усиление медленно-волновой активности.

Статистический анализ индексов альфа/тета в экспериментальной группе по отдельным отведениям приведен в табл. 2. По сравнению с контрольной группой выявлены значимые отличия этих индексов справа в отведениях O2, P4, T6 ($p < 0,05$) под влиянием спелеотерапии.

Отметим, что медианы индексов альфа/тета справа в затылочной области увеличились под воздействием спелеоклимата, интерквартильный размах уменьшился ($p = 0,05$). Слева в затылочной области медианы индексов альфа/тета уменьшились, интерквартильный размах увеличился.

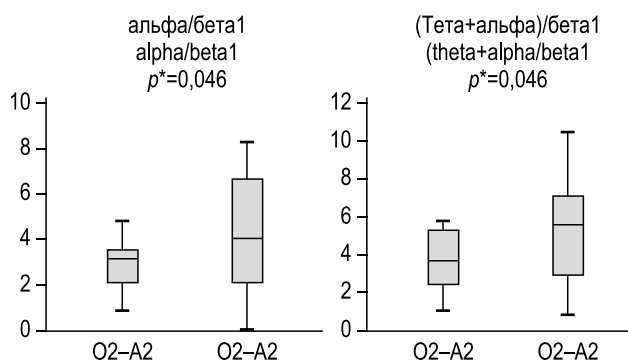


Рис. 1. Значимые (*) изменения индексов в затылочной области справа под влиянием отдыха (группа контроля).

Fig. 1. Significant (*) changes in the indices in the occipital region on the right in the control group.

Таблица 1. Индексы альфа/тета в контрольной группе, Me [Q1–Q3]

Table 1. Alpha/theta indices in the control group, Me [Q1–Q3]

Отведения	До отдыха Before rest	После отдыха After rest	z	p
O2–A2	6,45 [0,95–8,12]	3,91 [3,28–9,95]	–0,280	0,779
O1–A1	5,32 [2,61–13,60]	3,98 [2,77–15,53]	–0,105	0,917
P4–A2	6,28 [1,81–11,38]	13,04 [2,16–15,55]	–1,478	0,139
P3–A1	6,26 [1,82–12,93]	3,03 [2,17–11,17]	–1,275	0,202
C4–A2	2,97 [1,79–6,89]	2,87 [0,98–6,51]	–0,459	0,646
C3–A1	3,65 [0,79–6,21]	2,66 [1,02–6,83]	–0,051	0,959
F4–A2	1,68 [0,67–4,52]	2,50 [1,13–3,94]	–1,58	0,114
F3–A1	1,96 [0,98–2,76]	1,31 [0,59–6,13]	–1,274	0,203
T6–A2	6,26 [1,45–15,25]	7,42 [2,70–8,23]	–0,459	0,646
T5–A1	5,90 [1,41–8,72]	1,99 [1,59–7,35]	–0,866	0,386
T4–A2	2,23 [1,85–6,35]	2,40 [1,67–2,62]	–0,968	0,333
T3–A1	1,44 [0,59–1,79]	1,45 [1,08–7,88]	–0,866	0,386
F8–A2	2,38 [1,82–6,24]	3,43 [0,99–5,13]	–0,153	0,876
F7–A1	1,69 [0,80–3,16]	1,05 [0,89–7,77]	–0,255	0,799

Таблица 2. Индексы альфа/тета в экспериментальной группе, Ме [Q1–Q3]**Table 2.** Alpha/theta indices in the experimental group, Me [Q1–Q3]

Отведения Leads	До сеанса спелеотерапии Before the speleotherapy session	После сеанса спелеотерапии After the speleotherapy session	z	p
O2–A2	2,79 [1,92–4,83]	6,26 [3,65–10,72]	–1,82	0,050*
O1–A1	6,25 [2,64–14,39]	3,38 [1,43–6,61]	–1,68	0,093
P4–A2	2,97 [1,28–4,73]	5,36 [3,53–7,39]	–1,82	0,050*
P3–A1	3,65 [1,53–5,12]	2,01 [1,08–3,68]	–1,10	0,263
C4–A2	1,46 [1,18–4,38]	1,76 [1,65–5,12]	–0,840	0,401
C3–A1	2,09 [1,31–4,02]	1,97 [1,01–4,11]	–0,140	0,889
F4–A2	1,24 [1,06–5,44]	1,99 [1,21–5,42]	–0,560	0,570
F3–A1	2,21 [0,91–4,06]	1,79 [1,05–4,96]	–0,420	0,674
T6–A2	7,06 [5,47–8,36]	3,18 [1,89–5,03]	–2,54	0,012*
T5–A1	1,69 [1,17–4,50]	6,03 [1,51–11,83]	–1,752	0,080
T4–A2	2,60 [1,43–5,29]	1,40 [1,27–2,24]	–0,980	0,327
T3–A1	1,48 [1,05–2,96]	1,46 [1,18–3,41]	–0,560	0,575
F8–A2	2,17 [1,18–6,59]	1,21 [0,82–3,92]	–0,840	0,401
F7–A1	1,54 [0,86–4,82]	2,05 [1,46–4,55]	–0,701	0,481

Примечание: * — различия статистически значимы.

Note: * — statistically significant differences.

Медианы индексов альфа/тета справа и слева в височных областях Т6 и Т5 изменились: справа Ме уменьшилась ($p=0,012$), слева — увеличилась; интерквартильный размах справа уменьшился, слева — увеличился. Медиана индекса альфа/тета справа в теменной области Р4 увеличилась ($p=0,05$), интерквартильный размах также увеличился.

Наибольшие изменения индекса альфа/тета отмечены в следующих областях: O1, O2, T5, T6, P4 (рис. 2).

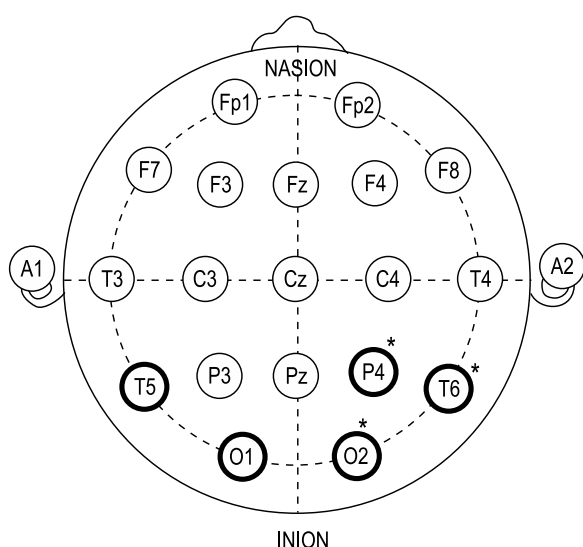


Рис. 2. Области изменения индексов альфа/тета под влиянием сеанса спелеотерапии (экспериментальная группа).

Fig. 2. Areas of change in the alpha/theta indices in the experimental group.

Статистически значимых отличий по индексам альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 у испытуемых под влиянием двухчасовой процедуры спелеотерапии не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

В работах многих авторов показано, что интегральные показатели (индексы) ЭЭГ чувствительны в оценке функционального состояния человека при воздействии в том числе восстановительных немедикаментозных методов. Так, И.С. Поликановой и А.В. Сергеевым [9] установлено более значимое изменение индекса (альфа + тета)/бета после длительной когнитивной нагрузки по сравнению с индексами альфа/тета, бета/альфа.

В нашем исследовании у студентов контрольной группы после двухчасового отдыха выявлены изменения индексов альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 в затылочной области справа, что может характеризовать эти индексы как чувствительные к процессу релаксации и напряжения, а в данном случае — отражать усиление медленно-волновой активности ЭЭГ под влиянием двухчасового отдыха.

В нашей работе также показано, что под влиянием спелеоклимата наиболее сильно изменяется по сравнению с другими индексами (альфа/бета, (альфа + тета)/(альфа + бета), тета/бета) индекс альфа + тета. Следовательно, именно его можно считать наиболее чувствительным для оценки влияния однократного воздействия спелеотерапии на мозг человека. Индекс альфа + тета показал ослабление медленно-волновой активности справа в отведениях O2, P4 и её усиление в отведении Т6.

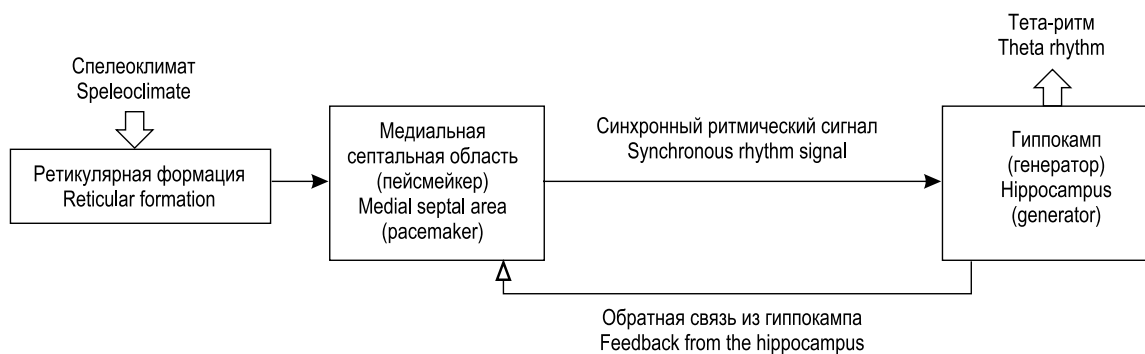


Рис. 3. Один из возможных механизмов изменения тета-активности под влиянием спелеопроцедуры.
Fig. 3. One of potential mechanisms for changing theta activity by speleotherapy.

Рассмотрим возможный механизм влияния спелеоклимата на ЭЭГ человека. Происхождение альфа-ритма на ЭЭГ связывают с таламусом. По топографии это преимущественно теменно-затылочный ритм. Любое увеличение сигнала на сенсорном входе должно подавить соответствующий альфа-ритм. Скорость угасания альфа-ритма при предъявлении сигналов разной модальности зависит от значимости стимула и от внутреннего состояния организма, в связи с чем она может быть индикатором функционального состояния мозга [10]. Соответственно, это объясняет возможность уменьшения индекса альфа/тета в отведении Т6 под воздействием спелеоклимата, однако не объясняет увеличения этого индекса в отведениях О2 и Р4, а также больший эффект от аэроионов справа.

Мощность альфа-активности обратно пропорционально коррелирует с метаболической деятельностью в соответствующей корковой области, приводя к функциональному объяснению альфа-ритмов как нерабочих (ритмов расслабления и «холостого хода») [10], что объясняет усиление медленно-волновой активности ЭЭГ под влиянием двухчасового отдыха (контрольная группа). Уменьшение же бета1-активности можно в данном случае (под влиянием отдыха) рассматривать как отсроченный маркер корковой активации, снижения внешнего возбуждения и уменьшения внутреннего торможения.

Тета-ритм связывают с работой гиппокампа, а также рассматривают как вариант работы таламуса: дезактивация глутаматергических нейронов ведёт к гиперполяризации и переводит таламические нейроны на генерацию тета-ритма. Показано также, что стимуляция ретикулярной формации стимулами разной природы приводит к увеличению частоты залпов септальных нейронов (нейронов перегородки) и мощности тета-ритма в гиппокампе, что отражается на ЭЭГ [10]. В нашем случае спелеоклимат является достаточно значимым стимулом для активации ретикулярной формации головного мозга, играет роль и изменение метаболической активности коры. Всё это объясняет значимое увеличение тета-активности в отведении Т6 у участников экспериментальной группы (рис. 3). А конкурентные взаимоотношения альфа-ритма и тета-ритма в таламусе приводят к увеличению альфа-активности (как теменно-затылочного ритма, увеличивающегося

при закрытии глаз) и снижению тета-активности в отведениях О2 и Р4 (значимому увеличению индекса альфа/тета под влиянием спелеопроцедуры).

Воздействие спелеоклимата на человека рассматривают как влияние на организм умеренного стрессорного фактора, к которому за 10 дней спелеотерапии происходит адаптация через классические стадии стресса по Селье: тревоги и резистентности. Такое воздействие в конечном счёте полезно, поскольку стимулирует повышение резервов организма [11]. В нашем случае за два часа спелеопроцедуры происходит первичный запуск механизмов адаптации организма к комплексу факторов, включая действие положительных и отрицательных аэроионов. Согласно концепции общего адаптационного синдрома (Ф.З. Меерсон [12]), эти изменения отражают стадию срочной адаптации. Развивается стресс-реакция, которая характеризуется мобилизацией функциональных систем, ответственных за адаптацию. Именно этот эффект мы наблюдаем на ЭЭГ.

Известно, что при стрессе активируются диэнцефальные системы и симпатическая нервная система, их активность приводит к увеличению активности правого полушария [13]. Динамика межполушарного доминирования и инверсия межполушарных отношений имеют место при смене функциональных состояний (в частности, когда наблюдается переход от относительно комфортного существования к стрессу). Чаще в данном случае происходит переход от левополушарной к правополушарной активации [14]. В нашем случае значимые изменения ЭЭГ-активности под влиянием спелеоклимата в экспериментальной группе наблюдались как раз справа.

ЭЭГ-показатели испытуемых экспериментальной группы после спелеотерапии свидетельствовали, с одной стороны, об изменении электроэнцефалогической картины [15, 16], что проявилось в увеличении мощности альфа- и одновременно — в уменьшении мощности тета-диапазонов в спектре ЭЭГ; но, с другой стороны, улучшение общей картины ЭЭГ происходило на фоне умеренного стресса, вызванного действием спелеоклимата, что не противоречит литературным данным по общим источникам формирования ритмов ЭЭГ и классической адаптационной теории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под влиянием двухчасовой спелеопроцедуры у испытуемых выявлены значимые изменения индекса альфа/тета ЭЭГ в отведениях P4, T6 и O2, чего не наблюдалось в контрольной группе. Значимых отличий по индексам альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 у испытуемых под влиянием процедуры спелеотерапии не выявлено, в то же время наблюдались значимые изменения по данным индексам в отведении O2 в контрольной группе. Наиболее чувствительным из проанализированных индексов для оценки влияния процедуры спелеотерапии на мозг человека является индекс альфа/тета.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: В.А. Семилетова внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовила первый вариант статьи;

Е.В. Дорохов существенно переработал рукопись на предмет важного интеллектуального содержания, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Я.В. Булгакова внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contribution: V.A. Semiletova, E.V. Dorohov, Ya.V. Bulgakova confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Источник финансирования. Исследование не получало финансовой поддержки.

Funding sources. No external funding.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бохан А.Н., Владимирский Е.В., Горбунов Ю.В. и др. Объективная оценка применения спелеоклиматических камер из природного сальвинита в профилактике и лечении // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 51–52. doi: 10.17116/kurort20219803221
2. Mełel S., Kostrzon M., Adamiak J., et al. The influence of speleotherapy combined with pulmonary rehabilitation on functional fitness in older adults — preliminary report // *Ther Adv Respir Dis*. 2020. Vol. 14. P. 1753466620926952. doi: 10.1177/1753466620926952
3. Rogula-Kozłowska W., Kostrzon M., Rogula-Kopiec P., Badyda A.J. Particulate matter in the air of the underground chamber complex of the wieliczka salt mine health resort // *Adv Exp Med Biol*. 2017. Vol. 955. P. 9–18. doi: 10.1007/5584_2016_176
4. Файнбург Г.З., Михайловская Л.В. Воздействие калийно-магневых соляных аэродисперсных воздушных сред на организм человека // *Безопасность и охрана труда*. 2021. № 4. С. 65–70. doi: 10.54904/52952_2021_4_65
5. Семилетова В.А., Дорохов Е.В. Самооценка влияния спелеоклиматотерапии на организм человека // *Интегративная физиология*. 2021. Т. 2, № 4. С. 420–425. doi: 10.33910/2687-1270-2021-2-4-420-425
6. Семилетова В.А., Дорохов Е.В. Эффект кратковременного влияния спелеоклиматотерапии на ЭЭГ человека. В кн.: *Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магневых солей: Материалы II Международной научно-практической конференции; Пермь, 21–22 октября 2021 года; Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2021. С. 320–334.*
7. Есауленко И.Э., Дорохов Е.В., Горбатенко Н.П., и др. Эффективность спелеоклиматотерапии у студентов в состоянии хронического стресса // *Экология человека*. 2015. Т. 22, № 7. С. 50–57. doi: 10.17816/humeco17000
8. Поликанова И.С., Коршунов А.В., Леонов С.В., Веракса А.Н. Ассоциация рецептора к дофамину второго типа (DRD2) с развитием утомления в результате длительной когнитивной нагрузки // *Национальный психологический журнал*. 2016. № 3. С. 115–126. doi: 10.11621/npj.2016.0314
9. Поликанова И.С., Сергеев А.В. Влияние длительной когнитивной нагрузки на параметры ЭЭГ // *Национальный психологический журнал*. 2014. № 1. С. 84–92. doi: 10.11621/npj.2014.0109
10. <https://cmi.to/> [Internet] CMI Brain Research. Center for medical information. Направление электрофизиологии НЦИЛС. [дата обращения: 31.03.2023]. Доступ по ссылке: <https://cmi.to/>
11. Михайлова Н.Л. Особенности электрической активности правого и левого полушарий головного мозга у лиц с разным профилем моторной асимметрии и ее связь с состоянием сердца в покое и после физической нагрузки // *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2011. № 2. С. 147–155.
12. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. Москва: Наука, 1981. 278 с.
13. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д. Нейрофизиологические проявления состояния монотонии у операторов с различной межполушарной асимметрией альфа-активности // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2014. Т. 64, № 4. С. 428.
14. Луценко Е.Л. Физиологическая психофизиология Особенности межполушарной асимметрии индекса альфа-ритма у студентов // *Вестник психофизиологии*. 2013. № 2. С. 34–40.
15. Игошина Т.В., Счастливец Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А. Динамика ЭЭГ-паттернов при коррекции стресс-реакций методом ингаляции ксенона // *Вестник восстановительной медицины*. 2017. № 1. С. 116–121.

16. Балабанова В.А., Киселев Д.А., Лайшева О.А. Оценка изменения функционального состояния ЦНС у больных с двигательными нарушениями по данным математического анализа

ЭЭГ до и после восстановительной терапии по методу функциональной двигательной регуляции // Детская больница. 2012. № 1. С. 29–34.

REFERENCES

1. Bokhan AN, Vladimirskii EV, Gorbunov YuV, et al. Ob'ektivnaya otsenka primeneniya speleoklimaticheskikh kamer iz prirodnogo sil'vinita v profilaktike i lechenii. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy*. 2021;98(3-2):51–52. (In Russ). doi: 10.17116/kurort20219803221
2. Meţel S, Kostrzon M, Adamiak J, et al. The influence of speleotherapy combined with pulmonary rehabilitation on functional fitness in older adults — preliminary report. *Ther Adv Respir Dis*. 2020;14:1753466620926952. doi: 10.1177/1753466620926952
3. Rogula-Kozłowska W, Kostrzon M, Rogula-Kopiec P, Badyda AJ. Particulate matter in the air of the underground chamber complex of the wieliczka salt mine health resort. *Adv Exp Med Biol*. 2017;955:9–18. doi: 10.1007/5584_2016_176
4. Fainburg GZ, Mikhailovskaya LV. Impact effects of potassium-magnesium salts aerodispersed air media per human body. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2021;(4):65–70. (In Russ).
5. Semiletova VA, Dorokhov EV. Self-assessment of the influence of speleoclimatotherapy on the human body. *Integrative Physiology*. 2021;2(4):420–425. (In Russ). doi: 10.33910/2687-1270-2021-2-4-420-425
6. Semiletova VA, Dorokhov EV. Effekt kratkovremennogo vliyaniya speleoklimatoterapii na EEG cheloveka. In: *Aktual'nye problemy okhrany truda i bezopasnosti proizvodstva, dobychi i ispol'zovaniya kaliino-magnievyykh solei: materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*; Perm', 2021 Oct 21–22; Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet; 2021. P. 320–334. (In Russ).
7. Esaulenko IE, Dorohov EV, Gorbatenko NP, et al. Efficacy of speleoclimatotherapy in students under chronic stress. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(7):50–57. (In Russ). doi: 10.17816/humeco17000
8. Polikanova IS, Korshunov AV, Leonov SV, Veraksa AN. Association to dopamine receptor D2 (DRD2) with developing fatigue as a result of long-term cognitive load. *National Psychological Journal*. 2016;(3):115–126. (In Russ). doi: 10.11621/npj.2016.0314
9. Polikanova IS, Sergeev AV. The effect of long-term cognitive load on the eeg parameters. *National Psychological Journal*. 2014;1:84–92. (In Russ).
10. <https://cmi.to/>[Internet]. *CMI Brain Research. Center for medical information. Direction of electrophysiology NCILS*. [cited 31 March 2023]. Available from: <https://cmi.to/>
11. Mikhailova NL. Features of electrical activity in right and left hemispheres of the brain in individuals with different profiles of motor asymmetry and its relationship with the state of the heart at rest and during exercise. *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal*. 2011;(2):147–155. (In Russ).
12. Meerson FZ. *Adaptacija, stress i profilaktika*. Moscow: Nauka; 1981. 278 p. (In Russ).
13. Lebedeva NN, Karimova ED. Neirofiziologicheskie proyavleniya sostoyaniya monotonii u operatorov s razlichnoi mezhpolusharnoi asimmetrii al'fa-aktivnosti. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I.P. Pavlova*. 2014;64(4):428. (In Russ). doi: 10.7868/S0044467714040108
14. Lutsenko EL. Fiziologicheskaya psikhofiziologiya. Osobennosti mezhpolusharnoi asimmetrii indeksa al'fa-ritma u studentov. *Psychophysiology News*. 2013;(2):34–40. (In Russ).
15. Igoshina TV, Schastlivtseva DV, Kotrovskaya TI, Bubeev YuA. EEG dynamics in the elimination of stress reactions by inhalation of xenon. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2017;(1):116–121. (In Russ).
16. Balabanova VA, Kiselev DA, Laisheva OA. Evaluation of changes in CNS functional status in patients with disordered motor function based on a mathematical analysis of EEG data prior to and after rehabilitation therapy according to the method of functional regulation of movements. *Detskaya bol'nitsa*. 2012;(1):29–34. (In Russ).

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ОБ АВТОРАХ

* Семилетова Вера Алексеевна, к.б.н., доцент;
адрес: Россия, 394036, Воронеж, ул. Студенческая, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7802-6436>;
eLibrary SPIN: 8330-0064;
e-mail: vera2307@mail.ru

Дорохов Евгений Владимирович, к.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2096-411X>;
eLibrary SPIN: 7464-1264;
e-mail: dorofov@mail.ru

Булгакова Ярослава Викторовна, к.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-0167>;
eLibrary SPIN: 6903-1375;
e-mail: yaroslava.v.bulgakova@mail.ru

AUTHORS' INFO

Vera A. Semiletova, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;
address: 10 Studencheskaja street, 394036 Voronezh, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7802-6436>;
eLibrary SPIN: 8330-0064;
e-mail: vera2307@mail.ru

Eugene V. Dorohov, MD, Cand. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2096-411X>;
eLibrary SPIN: 7464-1264;
e-mail: dorofov@mail.ru

Yaroslava V. Bulgakova, MD, Cand. Sci. (Med.),
associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-0167>;
eLibrary SPIN: 6903-1375; e-mail: yaroslava.v.bulgakova@mail.ru