

ВЛИЯНИЕ СПЕЛЕОКЛИМАТОТЕРАПИИ НА ФОНОВУЮ ЭЭГ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

В.А. Семилетова, Е.В. Дорохов, М.С. Нечаева

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
кафедра нормальной физиологии

Выявлено, что в состоянии функционального покоя с открытыми и закрытыми глазами у пациентов после воздействия электроотрицательных аэроионов снизилось напряжение в центральной нервной системе. При этом амплитуда тета-ритма в состоянии «открытые глаза» имела тенденцию к снижению как справа, так и слева в теменных, височных (Т5 и Т6), фронтальных (F8, F7) отведениях, однако в отведениях Т3 и Т4, F3 и F4 – к повышению; а в центральных и затылочных областях динамика амплитуды тета-ритма была разнонаправлена. Амплитуда тета-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела межполушарные отличия – тенденцию к повышению в отведениях О1, Р3, С3, F3, Т3. Амплитуда альфа-ритма в состоянии «открытые глаза» возрастала как справа, так и слева во всех исследуемых отведениях. Амплитуда альфа-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению во всех исследуемых отведениях. Амплитуда бета-ритма в состоянии «открытые глаза» имела тенденцию к повышению в затылочных и височных (Т3, Т4) областях; в теменных отведениях Р3 и Р4 – имела тенденцию к снижению; а в центральных и фронтальных областях практически не менялась. Амплитуда бета-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению практически во всех отведениях. Подобные изменения могли отражать эффективный отдых, готовность пациентов к активной деятельности, свидетельствовать о восстановлении работоспособности и ментальной активности головного мозга. А также могли быть связаны со снижением напряжения в регуляторных системах под воздействием сеанса спелеотерапии, при одновременной активной мыслительной деятельности, анализе ситуации и принятии решения.

Ключевые слова: спелеоклиматотерапия, электроэнцефалограмма, ритм, ЭЭГ.

DOI 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-116-120

INFLUENCE OF SPELEOCLIMATOTHERAPY ON BACKGROUND EEG ACTIVITY OF THE HUMAN BRAIN

V.A. Semiletova, E.V. Dorokhov, M.S. Nechaeva

FSBEI HE «N.N. Burdenko Voronezh State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,
Department of normal physiology

It was revealed that in a state of functional rest with open and closed eyes in patients after exposure to electronegative air ions, the voltage in the central nervous system decreased. At the same time, the amplitude of theta rhythm with the state of «open eyes» tended to decrease both on the right and on the left in the parietal, temporal (T5 and T6), frontal (F8, F7) leads, but in leads T3 and T4, F3 and F4 – to increase; and in the central and occipital areas, the dynamics of the theta rhythm amplitude was multidirectional. The amplitude of theta rhythm with the «closed eyes» state had interhemispheric differences – a tendency to increase in leads O1, P3, C3, F3, T3. The amplitude of the alpha rhythm in the «open eyes» state increased both on the right and on the left in all the studied leads. The amplitude of the alpha rhythm with the «closed eyes» state had a tendency to increase in all the studied leads. The amplitude of the beta rhythm with the state of «open eyes» tended to increase in the occipital and temporal (T3, T4) areas; in the parietal leads P3 and P4 – had a tendency to decrease; and practically did not change in the central and frontal areas. The amplitude of the beta rhythm with the «closed eyes» state had a tendency to increase in almost all leads. Such changes could reflect effective rest, the readiness of patients for vigorous activity, testify to the restoration of the efficiency and mental activity of the brain. It could also be associated with a decrease in tension in the regulatory systems under the influence of a session of speleotherapy, with simultaneous active mental activity, analysis of the situation and decision-making.

Key words: speleoclimatotherapy, electroencephalogram, rhythm, EEG.

Спелеоклиматотерапия – моделирование микроклимата сильвинитовых пещер – в настоящее время является весьма популярным методом лечения и профилактики различных заболеваний в условиях санаториев, лечебниц, частных клиник. В домашних условиях сильвинитовая спелеокамера – неиссякаемый источник свежего воздуха, уголок здоровья, в котором дышится легко и свободно взрослым и детям. Положительный эффект от воздействия микроклимата спелеотерапии объясняют составом воздуха сильвинитовой камеры [4].

Согласно литературным данным, под влиянием спелеоклиматотерапии у пациентов наблюдалось улучшение ментальных показателей, уменьшение тревожности, улучшение самочувствия и повышение физического и психического компонента качества жизни. Показано положительное влияние спелеотерапии на параметры иммунного статуса человека, в частности, на деятельность лейкоцитарной системы [1, 3, 5].

Иммунокорригирующая способность спелеотерапии проявляется также влиянием на систему медиаторов

аллергического воспаления, активность перекисного окисления липидов, уровень опиоидов. Анализ кардиоритма и параметров дыхания выявил неоднозначные изменения в сердечно-сосудистой системе организма человека, и лишь 30 % этих изменений можно рассматривать как положительные, в частности – повышение активности парасимпатического отдела автономной нервной системы [5].

Исследований же мозговой активности после воздействия спелеоклиматотерапии, на наш взгляд, проведено недостаточно. Анализ средней мощности биоэлектрической активности мозга различных ритмических диапазонов показал, что мощность тета-ритма имела тенденцию к снижению после спелеосеанса как при закрытых, так и при открытых глазах испытуемых. В состоянии функционального покоя с открытыми и закрытыми глазами у пациентов после воздействия электроотрицательных аэроионов снижалось напряжение в ЦНС. Мощность ритма бета-1 при закрытых и открытых глазах и альфа-ритма при открытых глазах увеличивается после спелеосеанса. Изменения мощности ритма бета-2 неоднозначны. Мощность же тета-ритма в состоянии функционального покоя с открытыми глазами увеличилась во фронтальных и центральных и снизилась в затылочных, теменных и височных областях мозга. В функциональном состоянии покоя с закрытыми глазами проявилась межполушарная асимметрия возникающих изменений. Так, в состоянии функционального покоя до сеанса спелеоклиматотерапии у испытуемых наблюдалась больше активность правого полушария, после спелеовоздействия активность правого полушария в большинстве областей снижалась [3].

В нашей работе мы сделали акцент на анализ амплитуды ритмов ЭЭГ, поскольку амплитудно-частотная характеристика является наиболее информативной и наиболее используемой в биологических и медицинских исследованиях, несмотря на критическое отношение ряда исследователей к изучению амплитудного спектра [2]. Мы постарались избежать обвинений в необоснованном усреднении, сделав акцент

на сравнении амплитуды анализируемых ритмов ЭЭГ активности до и после спелеовоздействия.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование влияния спелеоклиматотерапии на фоновую ЭЭГ активность мозга человека.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 14 студентов-добровольцев 18–20 лет. Регистрация ЭЭГ проведена до и после спелеовоздействия в состоянии функционального покоя, в малой спелеокамере на одного пациента, с помощью электроэнцефалографа «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» фирмы «Медиком» (г. Таганрог) в 19 стандартных отведениях согласно международной схеме 10–20.

Пациент находился в спелеокамере в течение двух часов при температуре воздуха 17 °С, относительной влажности воздуха 73 %, подвижности воздуха порядка 0,02 м/с, содержании отрицательных аэроионов 1100 ед./см³, содержании положительных аэроионов 700 ед./см³. Статистический анализ проведен с использованием программных пакетов «Excel» и «GraphPad Prism 9.0.0».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ амплитуды ЭЭГ проведен по следующим волновым диапазонам: тета, альфа, бета-1, бета-2 в двух функциональных состояниях – при открытых и закрытых глазах.

Выявлено, что амплитуда тета-ритма в состоянии «открытые глаза» имела тенденцию к снижению как справа, так и слева в теменных, височных (Т5 и Т6), фронтальных (F8, F7) отведениях, однако в отведениях Т3 и Т4, F3 и F4 – к повышению; а в центральных и затылочных областях динамика амплитуды тета-ритма была разнонаправлена (табл. 1).

Таблица 1

Амплитуда тета-ритма до и после спелеовоздействия

Тета-ритм	ОГ до	Ошибка среднего	ЗГ	Ошибка среднего	ОГ после	Ошибка среднего	ЗГ после	Ошибка среднего
O2-A2	10,635	0,317	9,768	0,474	10,116	0,127	9,504	0,177
O1-A1	9,018	0,233	8,304	0,351	9,241	0,158	9,496	0,143
P4-P2	10,111	0,573	9,978	0,791	9,609	0,328	9,538	0,322
P3-A1	12,823	1,358	8,978	0,795	8,337	0,354	9,351	0,376
C4-A2	11,92	0,334	11,919	0,579	11,534	0,219	11,506	0,199
C3-A1	10,364	0,251	11,387	0,538	10,771	0,127	12,031	0,187
F4-A2	11,478	0,267	12,317	0,583	11,979	0,261	12,031	0,208
F3-A1	11,145	0,224	10,953	0,481	11,276	0,127	11,841	0,173
T6-A2	8,459	0,536	8,691	0,732	8,298	0,273	8,223	0,279
T5-A1	8,074	0,481	7,88	0,653	7,085	0,262	7,228	0,277
T4-A2	8,094	0,312	8,837	0,636	8,255	0,141	8,732	0,211
T3-A1	7,431	0,289	7,674	0,425	7,568	0,116	8,459	0,153

Амплитуда тета-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению в отведениях О1, Р3, С3, F3, Т3 – что отражало межполушарную разницу в изменении амплитуды тета-ритма после воздействия спелеоклимата (слева амплитуда тета-ритма возрастает, справа – снижается).

Известно, что в состоянии бодрствования тета-ритм является отражением стрессорного состояния человека либо выявляется в периоды «озарения», то есть решении сложной задачи. При этом левое полушарие перерабатывает информацию логически и последовательно, оно отвечает за анализ и принятие решений.

Таким образом, можно предположить, что снижение тета-активности в отдельных областях головного мозга могло быть связано со снижением напряжения в регуляторных системах под воздействием сеанса спелеотерапии. Увеличение же тета-ритма слева при закрытых глазах и в отдельных областях при открытых глазах могло свидетельствовать об активной мыслительной деятельности, анализе ситуации и принятии решения.

Отмечено, что амплитуда альфа-ритма имела тенденцию к более выраженному изменению амплитудного спектра ритмов ЭЭГ.

В состоянии «открытые глаза» амплитуда альфа-ритма возрастала как справа, так и слева во всех исследуемых отведениях, в отведении О1-А1 (слева) увеличение амплитуды альфа ритма было достоверным (в состоянии покоя – $(11,296 \pm 0,625)$, после спелеоклиматотерапевтического сеанса – $(17,962 \pm 0,692)$, $p = 0,0419$ (табл. 2).

Амплитуда альфа-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению во всех исследуемых отведениях.

Как мы полагаем, увеличение амплитуды альфа-ритма было связано с отдыхом пациентов в спелеокамере в течение 2 часов.

Изменение амплитуды бета-1 и бета-2 поддиапазонов было однонаправлено.

Поэтому остановимся на динамике амплитуды бета-1 активности.

Амплитуда ритма бета-1 в состоянии «открытые глаза» имела тенденцию к повышению в затылочных и височных (Т3, Т4) областях; в теменных отведениях Р3 и Р4 – имела тенденцию к снижению; а в центральных и фронтальных областях практически не менялась (табл. 3).

Таблица 2

Амплитуда альфа-ритма до и после спелеовоздействия

Альфа-ритм	ОГ до	Ошибка среднего	ОГ после	Ошибка среднего	ЗГ до	Ошибка среднего	ЗГ после	Ошибка среднего
О2-А2	13,748	0,925	18,318	0,693	20,977	1,129	23,848	0,472
О1-А1	11,296	0,625	17,962	0,698	19,751	1,125	23,691	0,514
Р4-Р2	12,512	0,828	17,057	0,787	19,086	1,447	21,127	0,805
Р3-А1	14,816	1,463	12,337	0,570	14,671	1,429	17,085	0,820
С4-А2	15,301	1,155	15,677	0,591	17,901	1,194	18,739	0,460
С3-А1	14,824	1,099	16,061	0,437	18,444	1,109	20,157	0,557
F4-А2	12,812	0,888	15,723	0,593	18,572	1,220	19,813	0,574
F3-А1	12,418	0,938	14,492	0,472	17,047	1,030	19,524	0,634
Fp2-А2	9,886	0,610	13,421	0,568	15,201	1,171	17,831	0,661
Fp1-А1	9,724	0,686	11,467	0,376	14,274	1,016	16,745	0,667
T6-А2	9,882	0,660	14,843	0,767	17,134	1,388	20,239	0,792
T5-А1	9,022	0,632	11,924	0,651	12,826	1,065	15,347	0,732
T4-А2	9,512	0,713	12,280	0,556	13,856	1,167	15,717	0,477
T3-А1	8,814	0,670	10,441	0,419	11,571	0,765	14,133	0,661
F8-А2	9,499	0,581	13,025	0,649	15,869	1,286	16,953	0,613
F7-А1	9,604	0,676	10,989	0,371	14,465	0,915	16,669	0,687

Таблица 3

Амплитуда ритма бета-1 до и после спелеовоздействия

Отведения	ОГ до	Ошибка среднего	ОГ после	Ошибка среднего	ЗГ до	Ошибка среднего	ЗГ после	Ошибка среднего
O2-A2	9,813	0,292	10,519	0,132	10,772	0,298	12,286	0,204
O1-A1	9,937	0,289	10,310	0,165	10,661	0,321	12,408	0,192
P4-P2	8,868	0,559	8,433	0,271	9,312	0,688	9,791	0,357
P3-A1	14,176	2,159	8,862	0,436	9,131	0,813	10,216	0,460
C4-A2	10,953	0,414	10,174	0,268	10,219	0,396	12,607	0,361
C3-A1	10,438	0,370	10,454	0,188	10,756	0,464	12,039	0,176
F4-A2	9,907	0,336	9,935	0,178	10,575	0,287	11,091	0,248
F3-A1	9,516	0,425	9,873	0,220	10,636	0,473	10,804	0,182
Fp2-A2	7,747	0,429	7,426	0,166	7,985	0,347	8,544	0,190
Fp1-A1	7,677	0,353	7,886	0,198	8,610	0,327	8,666	0,176
T6-A2	8,049	0,520	8,802	0,300	8,951	0,669	10,419	0,396
T5-A1	8,704	0,584	7,878	0,314	8,534	0,650	9,344	0,371
T4-A2	11,329	0,506	10,338	0,201	10,687	0,357	11,582	0,285
T3-A1	11,000	0,283	11,144	0,209	11,246	0,506	11,150	0,171
F8-A2	8,122	0,344	8,154	0,159	9,066	0,388	9,399	0,241
F7-A1	8,484	0,329	8,504	0,147	9,341	0,308	9,241	0,175

Амплитуда бета-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению практически во всех отведениях. Подобные изменения могли отражать

готовность пациентов к активной деятельности, свидетельствовать о восстановлении работоспособности и ментальной активности головного мозга (табл. 4).

Таблица 4

Амплитуда ритма бета-2 до и после спелеовоздействия

Отведения	ОГ до	Ошибка среднего	ОГ после	Ошибка среднего	ЗГ до	Ошибка среднего	ЗГ после	Ошибка среднего
O2-A2	7,470	0,335	8,226	0,212	7,454	0,313	8,499	0,191
O1-A1	9,381	0,380	8,589	0,180	8,817	0,341	9,373	0,143
P4-P2	6,029	0,442	6,053	0,285	5,473	0,393	6,399	0,388
P3-A1	10,947	1,526	6,542	0,321	6,547	0,605	6,866	0,309
C4-A2	6,975	0,296	6,971	0,228	7,149	0,363	7,634	0,275
C3-A1	7,562	0,301	7,156	0,143	7,571	0,366	7,780	0,129
F4-A2	6,645	0,241	6,869	0,186	7,426	0,330	6,662	0,158
F3-A1	7,090	0,380	6,571	0,148	7,647	0,391	6,746	0,081
Fp2-A2	5,617	0,329	5,795	0,196	5,987	0,406	5,749	0,174
Fp1-A1	6,317	0,303	5,995	0,144	6,703	0,326	6,409	0,139
T6-A2	6,237	0,412	7,280	0,325	5,834	0,420	6,751	0,291
T5-A1	8,084	0,504	7,662	0,318	8,456	0,812	8,036	0,286
T4-A2	9,376	0,406	9,385	0,262	8,894	0,352	9,024	0,214
T3-A1	10,632	0,550	10,417	0,306	10,407	0,684	10,040	0,235
F8-A2	6,548	0,257	7,108	0,233	6,956	0,344	7,129	0,169
F7-A1	7,311	0,307	7,531	0,228	7,544	0,228	7,181	0,128

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в состоянии функционального покоя с открытыми и закрытыми глазами у пациентов после воздействия электроотрицательных аэроионов снизилось напряжение в ЦНС.

При этом амплитуда тета-ритма в состоянии «открытые глаза» имела тенденцию к снижению как справа, так и слева в теменных, височных (T5 и T6), фронтальных (F8, F7) отведениях, однако в отведениях T3 и T4, F3 и F4 – к повышению; а в центральных

и затылочных областях динамика амплитуды тета-ритма была разнонаправлена.

Амплитуда тета-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела межполушарные отличия – тенденцию к повышению в отведениях О1, Р3, С3, F3, Т3. Амплитуда альфа-ритма в состоянии «открытые глаза» возрасла как справа, так и слева во всех исследуемых отведениях. Амплитуда альфа-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению во всех исследуемых отведениях. Амплитуда бета-ритма в состоянии «открытые глаза» имела тенденцию к повышению в затылочных и височных (Т3, Т4) областях; в теменных отведениях Р3 и Р4 – имела тенденцию к снижению; а в центральных и фронтальных областях практически не менялась. Амплитуда бета-ритма в состоянии «закрытые глаза» имела тенденцию к повышению практически во всех отведениях.

Электроэнцефалографическая активность головного мозга является очень динамичной. Полученные нами изменения могли отражать эффективный отдых, готовность пациентов к активной деятельности, свидетельствовать о восстановлении работоспособности и ментальной активности головного мозга. Также это могло быть связано со снижением напряжения в регуляторных системах под воздействием сеанса спелеоклиматотерапии, при одновременной активной мыслительной деятельности, анализе ситуации и принятии решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатенко Н.П., Семилетова В.А., Дорохов Е.В. Влияние спелеоклиматотерапии на психоэмоциональное состояние и электрическую активность мозга здорового человека // Материалы XXIII съезда физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. – 2017. – С. 1145–1147.
2. Кулаичев А.П. Метрологическое исследование спектральных оценок амплитуды ЭЭГ // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 11-1. – С. 55–66.
3. Семилетова В.А. Изменение мощностных характеристик биоэлектрической активности мозга человека под влиянием спелеоклиматотерапии // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2021. – № 1. – С. 53–59.
4. Файнбург Г.З. О доказательности эффективности методов спелеотерапии в калийных рудниках и спелеоклиматотерапии в сильвинитовых спелеокамерах // Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей Матери-

алы I Международной научно-практической конференции / под ред. Г.З. Файнбурга. – 2018. – С. 416–441.

5. Есауленко И.Э., Дорохов Е.В., Горбатенко Н.П. и др. Эффективность спелеоклиматотерапии у студентов в состоянии хронического стресса // Экология человека. – 2015. – № 7. – С. 50–57.

REFERENCES

1. Gorbatenko N.P., Semiletova V.A., Dorokhov E.V. Vliyaniye speleoklimatoterapii na psikhoemotsional'noye sostoyaniye i elektricheskuyu aktivnost' mozga zdorovogo cheloveka [The influence of speleoclimatotherapy on the psychoemotional state and electrical activity of the brain of a healthy person]. *Materialy XXIII s"yezda fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiyem* [Materials of the XXIII Congress of the Physiological Society named after I.P. Pavlova with international participation], 2017, pp. 1145–1147. (In Russ.; abstr. in Engl.).
2. Kulaichev A.P. Metrologicheskoye issledovaniye spektral'nykh otsenok amplitudy EEG [Metrological study of spectral estimates of the EEG amplitude]. *Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk* [Actual problems of the humanities and natural sciences], 2016, no. 11-1, pp. 55–66. (In Russ.; abstr. in Engl.).
3. Semiletova V.A. Izmeneniye moshchnostnykh kharakteristik bioelektricheskoy aktivnosti mozga cheloveka pod vliyaniyem speleoklimatoterapii [Changes in the power characteristics of the bioelectrical activity of the human brain under the influence of speleoclimatotherapy]. *Sovremennaya nauka: aktual'nyye problemy teorii i praktiki* [Modern science: actual problems of theory and practice], 2021, no. 1, pp. 53–59. (In Russ.; abstr. in Engl.).
4. Fainburg G.Z. O dokazatel'nosti effektivnosti metodov speleoterapii v kaliynykh rudnikakh i speleoklimatoterapii v sil'vinitovykh speleokamerakh [On the evidence of the effectiveness of methods of speleotherapy in potash mines and speleoclimatotherapy in sylvinit speleo chambers]. *Aktual'nyye problemy okhrany truda i bezopasnosti proizvodstva, dobychi i ispol'zovaniya kaliyno-magniyevykh soley* *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of occupational health and safety of production, mining and use of potassium-magnesium salts Materials of the I International scientific-practical conference]. G.Z. Feinburg (ed.). 2018, pp. 416–441. (In Russ.; abstr. in Engl.).
5. Esaulenko I.E., Dorokhov E.V., Gorbatenko N.P., et al. Effektivnost' speleoklimatoterapii u studentov v sostoyanii khrogicheskogo stressa [The effectiveness of speleoclimatotherapy among students in a state of chronic stress]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2015, no. 7, pp. 50–57. (In Russ.; abstr. in Engl.).

Контактная информация

Семилетова Вера Алексеевна – к. б. н., доцент кафедры нормальной физиологии, Воронежский государственный медицинский университет, e-mail: vera2307@mail.ru