

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco568123>

Особенности биоэлектрической активности головного мозга студентов-мужчин 18–22 лет с интернет-зависимостью

С.Н. Толстогузов¹, Т.А. Фишер²¹ Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация;² Тюменское высшее военно-инженерное командное училище им. маршала инженерных войск А.И. Прошлякова, Тюмень, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Чрезмерное использование сети Интернет с целью развлечений или бесцельного времяпрепровождения часто приводит к возникновению интернет-зависимости.

Цель. Изучение особенностей биоэлектрической активности мозга у молодых людей (студентов в возрасте 18–22 лет) с интернет-зависимостью с использованием данных спектрального анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ) по показателям полной мощности спектра и индексов ритма.

Материал и методы. В исследовании принял участие 61 доброволец — студенты 1–2 курсов очной формы обучения (юноши, возраст $19,63 \pm 1,27$ лет) Тюменского государственного университета (ТюмГУ), жители г. Тюмени и Тюменской области. По методике Чена (CIAS) выборка разделена на интернет-зависимых и контрольную группу. Фоновую ЭЭГ регистрировали в 16 стандартных отведениях. Проведен спектральный анализ ЭЭГ по показателям полной мощности спектра, мощности спектра в альфа-диапазоне (мкВ²), индекса ритма. Межгрупповые различия изучали с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Результаты. У интернет-зависимых студентов преобладал (86% случаев) I тип ЭЭГ с организованной во времени и пространстве структурой альфа-ритма, модулированного в выраженные веретена, а также (14% случаев) был представлен II тип энцефалограммы, отличающийся гиперсинхронной альфа-активностью, слабо модулированный или совсем не модулированный в веретена с высокими значениями индекса ритма. В контрольной группе молодых людей встречались три типа нормальной организации ЭЭГ. Организованный I тип составил 69%, гиперсинхронный II тип — 8%, тогда как десинхронный III тип с низкой представленностью альфа-компоненты и заменой её на тета- и бета₁-ритмики был отмечен у 23% испытуемых контрольной группы. По показателю полной мощности спектра в основных частотных диапазонах (0,5–35 Гц) более высокие значения были зафиксированы в группе интернет-зависимых испытуемых в сравнении с контролем в левом переднелобном F₁ (U=210; Z=2,04; p=0,049), правом теменном P₄ (U=215; Z=2,07; p=0,049), правом и левом затылочных O₁ (U=180; Z=2,76; p=0,006), O₂ (U=187; Z=2,64; p=0,008), левом височном T₃ (U=230; Z=1,92; p=0,050) и левом задневисочном T₅ (U=201; Z=2,41; p=0,015) отведениях.

Заключение. Паттерны биоэлектрической активности мозга интернет-зависимых молодых людей, полученные в нашем исследовании, вероятно отражают определённую (развитую) стадию аддиктивного процесса, при котором не отмечаются выраженные негативные ЭЭГ-проявления интернет-зависимости на фоне сформированных у аддиктов адаптационных механизмов к такому образу жизнедеятельности.

Ключевые слова: электроэнцефалография; интернет-зависимость; спектральный анализ ЭЭГ.

Как цитировать:

Толстогузов С.Н., Фишер Т.А. Особенности биоэлектрической активности головного мозга студентов-мужчин 18–22 лет с интернет-зависимостью // Экология человека. 2023. Т. 30. № 8. С. 601–610. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco568123>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco568123>

Features of bioelectric brain activity of 18–22 years old male students with internet addiction

Sergey N. Tolstoguzov¹, Tatiana A. Fisher²

¹ University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation;

² Tyumen Higher Military Engineer Command School named after marshal of engineering troops A.I. Proshlyakov, Tyumen, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Excessive use of the Internet for entertainment or aimless activities often results in the development of Internet addiction.

AIM: To study bioelectrical activity of the brain in young men aged 18–22 with Internet addiction using the EEG spectral analysis data. Specifically, the analysis will focus on the full spectrum power and rhythm indices.

METHODS: The study involved 61 volunteers who were students in their first or second year of full-time education at the University of Tyumen (UTMN). These volunteers were young men with an average age of 19.63 ± 1.27 years and were residents of Tyumen and the Tyumen region. To categorize the participants, the Chen method (CIAS) was used to divide them into two groups: Internet addicts and a control group. A background EEG was recorded using 16 standard leads. A spectral analysis of the EEG was then conducted, focusing on the total power of the spectrum, the power of the spectrum in the alpha range (μV^2), and the rhythm index. The groups were compared using Mann–Whitney U-test.

RESULTS: EEG Type 1 was found in 86% of individuals with addiction. This type exhibited an alpha rhythm structure that was well-organized in both time and space. Additionally, it displayed pronounced spindles. EEG Type 2 was observed in 14% of addicted students. It was characterized by hypersynchronous alpha activity, which was weakly modulated or not modulated into spindles. It also exhibited high Rhythm Index values. In the control group of young men, three types of normal EEG organization were identified. Most of the controls (69%) displayed an organized Type 1 pattern. Eight percent exhibited a hypersynchronous Type 2 pattern. The remaining 23% showed a desynchronous Type 3 pattern, which was characterized by a low representation of the alpha-component. Instead, theta- and beta1-rhythms were noted. When comparing the total power of the spectrum in the main frequency ranges (0.5–35 Hz), higher values were observed in the group of individuals addicted to the Internet, as compared to the control group. Specifically, the left anterior frontal Fp1 ($U=210$; $Z=2.04$; $p=0.049$), right parietal P4 ($U=215$; $Z=2.07$; $p=0.049$), right and left occipital O1 ($U=180$; $Z=2.76$; $p=0.006$), O2 ($U=187$; $Z=2.64$; $p=0.008$), left temporal T3 ($U=230$; $Z=1.92$; $p=0.050$), and left posterior temporal T5 ($U=201$; $Z=2.41$; $p=0.015$) leads exhibited significantly higher values.

CONCLUSION: The bioelectrical activity patterns of the brains of UTMN male students addicted to the Internet indicate a developed stage of the addictive process. During this stage, there are no significant negative EEG manifestations of Internet addiction. This can be attributed to the adaptive mechanisms that have developed in these individuals because of their lifestyle.

Keywords: electroencephalography; Internet addiction; EEG spectral analysis.

To cite this article:

Tolstoguzov SN, Fisher TA. Features of bioelectric brain activity of 18–22 years old male students with internet addiction. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(8):601–610. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco568123>

ВВЕДЕНИЕ

В век развития информационных технологий многие виды деятельности человека так или иначе связаны с применением сети Интернет. Использование интернет-ресурсов в большинстве случаев продиктовано условиями труда и объективной необходимостью деятельности, однако в обществе растёт и доля случаев чрезмерного погружения человека в мир виртуальной реальности с целью развлечений или бесцельного времяпрепровождения. Особенно это характерно для молодых людей, использующих возможности мобильных интернет-гаджетов практически в режиме 24/7. Возникновение в таких условиях явления интернет-зависимости является закономерным, а негативные психические и физиологические аддиктивные проявления требуют внимательного изучения специалистов.

Большинство исследователей интернет-зависимости рассматривают социальные, поведенческие и психологические девиации, тогда как в настоящее время активно идёт поиск нейробиологических механизмов, посредством которых сетевая аддикция может влиять на нейрофизиологические функции, развитие и функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС), электрогенез биопотенциалов головного мозга, при этом ответов на многие вопросы ещё не получено [1, 2].

В ряде исследований отмечается, что под влиянием чрезмерного использования сети Интернет происходят изменения в дофаминэргической системе головного мозга, свидетельствуя об участии «системы вознаграждения» мозга в механизмах возникновения интернет-зависимости. В работах с применением метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) фиксировалось снижение плотности белого вещества в тех функциональных областях мозга, которые ответственны за поведенческий, эмоциональный и волевой контроль, сенсомоторную координацию [3], а также отмечалось понижение активации стриатума и вентромедиальной префронтальной коры [4]. У интернет-зависимых лиц было выявлено снижение размера вентрального стриатума, структуры которого обеспечивают механизм «награды» с выработкой дофамина, как и при иных химических и нехимических зависимостях [5, 6].

Целый ряд исследовательских работ [7–10] посвящён поиску своеобразных ЭЭГ-маркеров состояния интернет-аддикции. Так, в работе J. Lee с соавт. [7] отмечено, что в группе интернет-зависимых лиц без депрессии снижена абсолютная мощность ЭЭГ в дельта- и бета-диапазонах во всех отведениях, тогда как у интернет-аддиктов с коморбидной депрессией повышена тета-активность на фоне снижения мощности альфа-ритма. Отмечается, что снижение бета-активности является кандидатом на нейробиологический маркер состояния интернет-зависимости. О снижении бета-мощности спектра ЭЭГ у аддиктов пишут и F. D'Hondt с соавт. [8], а также T. Burleigh

с соавт. [9], при этом последний отмечает, что при интернет-зависимости топологическая организация ЭЭГ изменяется в сторону более случайной сетевой организации. J.-S. Choi с соавт. [10] обращают внимание на то, что снижение абсолютной мощности бета-активности у интернет-зависимых в значительной степени связано с тяжестью аддиктивного состояния и степенью его развития. В этой работе, а также в исследованиях G. Dong с соавт. [11, 12], на фоне аддиктивных изменений электрогенерации биопотенциалов мозга отмечается и стойкое снижение тормозного контроля, затруднения с функцией селективного внимания.

В работе Л.К. Антроповой с соавт. [6] у интернет-зависимых лиц отмечены органические астенические расстройства, минимальная мозговая дисфункция, эмоциональные нарушения и выраженная функциональная межполушарная асимметрия. Показано [13, 14], что аддиктивные состояния сопряжены с целым набором психофизиологических нарушений, таких как повышенная нервная возбудимость, нарушения когнитивных процессов, депрессивные расстройства и состояние стресса. В ряде публикаций [15, 16] приводятся данные о перспективности использования альфа-осцилляций 8–13 Гц в качестве биомаркеров стресса. Есть данные [17, 18], свидетельствующие об отрицательной корреляции между мощностью альфа-ритма и состоянием стресса испытуемых, а также об усилении альфа-ритма на фоне снижения тревоги и антидепрессивных эффектов. В других исследованиях [19, 20] показана связь мощности альфа-ритма и показателей личностной и ситуационной тревожности. Таким образом, показатели альфа-активности (мощности, индекса ритма) могут выступать в качестве маркеров функционального состояния головного мозга при различных, в том числе и аддиктивных состояниях испытуемых.

В работе Д.Б. Дёмина [21] подробно рассмотрено разнообразие церебральных паттернов по типологии Е.А. Жирмунской [22] у лиц с различным уровнем риска интернет-зависимости. Автор отмечает, что во всех группах подростков 16–17 лет чаще всего встречался I тип ЭЭГ с организованным альфа-ритмом. При этом группа лиц со склонностью к возникновению интернет-зависимости имела наиболее гетерогенный состав по представленности типов мозговой активности — в разных соотношениях в ней присутствовали все типы за исключением V (дезорганизованного с преобладанием тета- и дельта-активности). Особый интерес исследования вызывает группа выраженных интернет-аддиктов со стопроцентной представленностью I типа ЭЭГ, что объясняется автором относительным возрастным «созреванием» альфа-ритма.

Исследование интегративных процессов головного мозга при интернет-зависимости проводится и методом когерентного анализа ЭЭГ. Так, в работе З.А. Тайгибовой с соавт. [23] отмечено снижение общего уровня когерентности биопотенциалов мозга у аддиктов при нарушении лобно-затылочного градиента. Авторы считают,

что зафиксированные особенности корковой нейродинамики обусловлены компенсаторным характером взаимодействия мозговых структур, направленным на снижение функциональной активности мозга у интернет-зависимых. В работе J.-Y. Lee с соавт. [24] у лиц с нехимической зависимостью выявлено повышение когерентности в альфа-диапазоне в правом полушарии в сопряжении с выраженной депрессией и состоянием стресса.

Несмотря на детальные исследования ЭЭГ-особенностей лиц с интернет-зависимостью, проведённые в последние двадцать лет, полученные результаты неоднозначны, а поиск характерного для нехимической аддикции ЭЭГ-паттерна продолжается.

Цель исследования. Изучение особенностей биоэлектрической активности мозга у молодых людей с интернет-зависимостью с использованием данных спектрального анализа ЭЭГ по показателям полной мощности спектра и индексов ритма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании принял участие 61 человек — студенты 1–2 курсов очной формы обучения (юноши, возраст $19,63 \pm 1,27$ лет) Тюменского государственного университета (ТюмГУ), в основном жители г. Тюмени и Тюменской области. Критерии включения: 1–2 группа диспансерного наблюдения; критерии исключения: наличие в анамнезе неврологических нарушений и обострение заболеваний любых нозологий в последние две недели перед исследованием. Подписаны добровольные информированные согласия на участие в научном исследовании и обработку персональных данных.

Однократное (поперечное) исследование проводилось в начале учебного года (сентябрь–октябрь) в спокойной комфортной обстановке в первой половине дня.

Интернет-зависимость определяли методом Чена (шкала Chinese Internet Addiction Scale – CIAS) в адаптации В.Л. Малыгина [25]. ЭЭГ регистрировали стационарно на аппаратно-компьютерном комплексе «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» (Россия, г. Иваново). Для фиксации электродов использовали международную систему «10–20» в 16 активных отведениях обеих полушарий ($F_1, F_2, F_3, F_4, F_7, F_8, C_3, C_4, T_3, T_4, T_5, T_6, P_3, P_4, O_1, O_2$), монополярно с референтными ушными электродами (A_1, A_2). ЭЭГ записывали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в положении сидя, в комнате, защищённой от световых и звуковых раздражителей. Спектр регистрируемых частот биоритмов мозга составил от 0,5 до 35 Гц. Сопротивление электродов не превышало 20 кОм. Заземляющий электрод фиксировали в центральной точке Cz. Использовали частоту квантования 500 точек.

Анализ фоновой записи ЭЭГ проводили по 20 эпохам анализа длительностью 10–15 с каждая, выделяя безартефактные участки. Математический анализ ЭЭГ проводили с использованием программы «Нейрон-Спектр»

с преобразованием Фурье для основных частотных диапазонов: δ (0,5–4,0 Гц), θ (4,0–8,0 Гц), α (8,0–14,0 Гц), β_1 (14,0–20,0 Гц), β_2 (20,0–35,0 Гц). Для описания функционального состояния головного мозга испытуемых использовали показатели полной мощности спектра, мощности спектра в альфа диапазоне (мкВ^2), индекса ритма (Гц).

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ SPSS Statistics 23. Данные представлены в виде медианы (Me), первого и третьего квартилей (Q_1 – Q_3 , 25–75 перцентили). Проверку нулевой гипотезы (H_0) о нормальности распределения данных в выборках проводили по критерию Шапиро–Уилка. Ввиду того, что в большинстве измерений распределение показателей не соответствовало нормальному, статистическую обработку проводили непараметрическими методами с использованием критерия Манна–Уитни для двух независимых групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вся исследованная выборка испытуемых была разделена на две группы по результатам определения интернет-зависимости по опроснику Чена (тест CIAS). В первую группу (без риска возникновения интернет-зависимости — контрольную) вошли 46 юношей, набравших менее 42 баллов по интегральной шкале CIAS (среднее Total CIAS score — $35,65 \pm 3,85$ баллов, далее — контроль, контрольная группа). Вторую группу сформировали 15 молодых людей с риском интернет-зависимости (2 испытуемых), а также с выраженной аддикцией (13 испытуемых), получившие по интегральной шкале CIAS (среднее Total CIAS score — $67,29 \pm 4,25$ баллов, далее — интернет-зависимые, ИЗ, аддикты).

Анализ фоновой активности ЭЭГ позволил выявить в группе интернет-зависимых меньшую гетерогенность типов биоэлектрической активности мозга по системе описания паттернов Е.А. Жирмунской [22] в сравнении с группой контроля. Так, у аддиктов преобладал (86% случаев) I тип ЭЭГ с организованной во времени и пространстве структурой альфа-ритма, модулированного в выраженные веретена (рис. 1), а также (14% случаев) был представлен II тип энцефалограммы, отличающийся



Рис. 1. Доля различных типов электроэнцефалограммы по Е.А. Жирмунской [22] в выборках испытуемых.

Fig. 1. Proportion of different types of electroencephalogram according to E.A. Zhirmunskaya [22].

гиперсинхронной альфа-активностью, слабо модулированный или совсем не модулированный в веретена с высокими значениями индекса ритма. В контрольной группе молодых людей встречались три типа нормальной организации ЭЭГ. Организованный I тип составил 69%, гиперсинхронный II тип — 8%, тогда как десинхронный III тип с низкой представленностью альфа-компоненты и заменой ее на тета- и бета₁-ритмики был отмечен у 23% испытуемых контрольной группы. Вариантов IV и V дезорганизованных типов в выборках испытуемых не встречалось.

По показателю полной мощности спектра в основных частотных диапазонах (0,5–35 Гц) более высокие значения (критерий Манна–Уитни) были зафиксированы в группе интернет-зависимых испытуемых в сравнении с контролем в левом переднелобном F_{p1} ($U=210$; $Z=2,04$; $p=0,049$), правом теменном P_4 ($U=215$; $Z=2,07$; $p=0,049$), правом и левом затылочных O_1 ($U=180$; $Z=2,76$; $p=0,006$), O_2 ($U=187$; $Z=2,64$; $p=0,008$), левом височном T_3 ($U=230$; $Z=1,92$; $p=0,050$) и левом задневисочном T_5 ($U=201$; $Z=2,41$; $p=0,015$) отведениях. В целом по всей поверхности скальпа полная мощность в группе аддиктов была выше или равна значениям контрольной группы (рис. 2).

В альфа-диапазоне в группе интернет-зависимых полная мощность спектра также была выше значений контрольной группы. Интернет-зависимые испытуемые имели более высокие значения в центральных C_3 ($U=190$; $Z=2,59$; $p=0,009$), C_4 ($U=182$; $Z=2,72$; $p=0,006$), теменных P_3 ($U=152$; $Z=3,22$; $p=0,001$), P_4 ($U=156$; $Z=3,15$; $p=0,002$), затылочных O_1 ($U=194$; $Z=2,52$; $p=0,011$), O_2 ($U=201$; $Z=2,41$;

$p=0,015$) и правом задневисочном T_6 ($U=231$; $Z=1,89$; $p=0,050$) отведениях (рис. 3).

Значимых межполушарных отличий полной мощности всего спектра и полной мощности в альфа-диапазоне в исследуемых группах отмечено не было.

Низкочастотный дельта-ритм имел наибольшую выраженность во фронтальных: лобных, височных и центральных F_{p1} ; F_{p2} ; F_3 ; F_4 ; F_7 ; F_8 ; T_3 ; T_4 ; C_3 ; C_4 областях мозга, постепенно снижаясь к каудальным: теменным и затылочным (P_3 ; P_4 ; O_1 ; O_2) отделам, без значимых отличий между группами (приложение 1, doi: 10.17816/humeco568123-4187365).

Тета-активность по индексу ритма имела диффузное распределение с некоторой локализацией в лобных и передневисочных (F_3 ; F_4 ; F_7 ; F_8) отведениях. При этом в группе интернет аддиктов тета-ритм значительно снижался по сравнению с контрольной группой в левом теменном P_3 ($U=115$; $Z=3,84$; $p=0,001$), левом O_1 ($U=39$; $Z=5,12$; $p=0,001$) и правом затылочном O_2 ($U=123$; $Z=3,70$; $p=0,001$) отведениях.

Фоновый альфа-ритм в обеих группах испытуемых имел выраженный лобно-затылочный градиент с четкой локализацией по индексу в затылочных и теменных отведениях. В группе интернет-зависимых испытуемых индекс альфа-ритма в правом переднелобном отведении был значимо ниже F_{p2} ($U=84$; $Z=4,36$; $p=0,001$) контроля, тогда как в левом лобном F_3 ($U=229$; $Z=1,90$; $p=0,050$), левом передневисочном F_4 ($U=202$; $Z=2,39$; $p=0,017$), левом центральном C_3 ($U=130$; $Z=3,60$; $p=0,001$), левом и правом

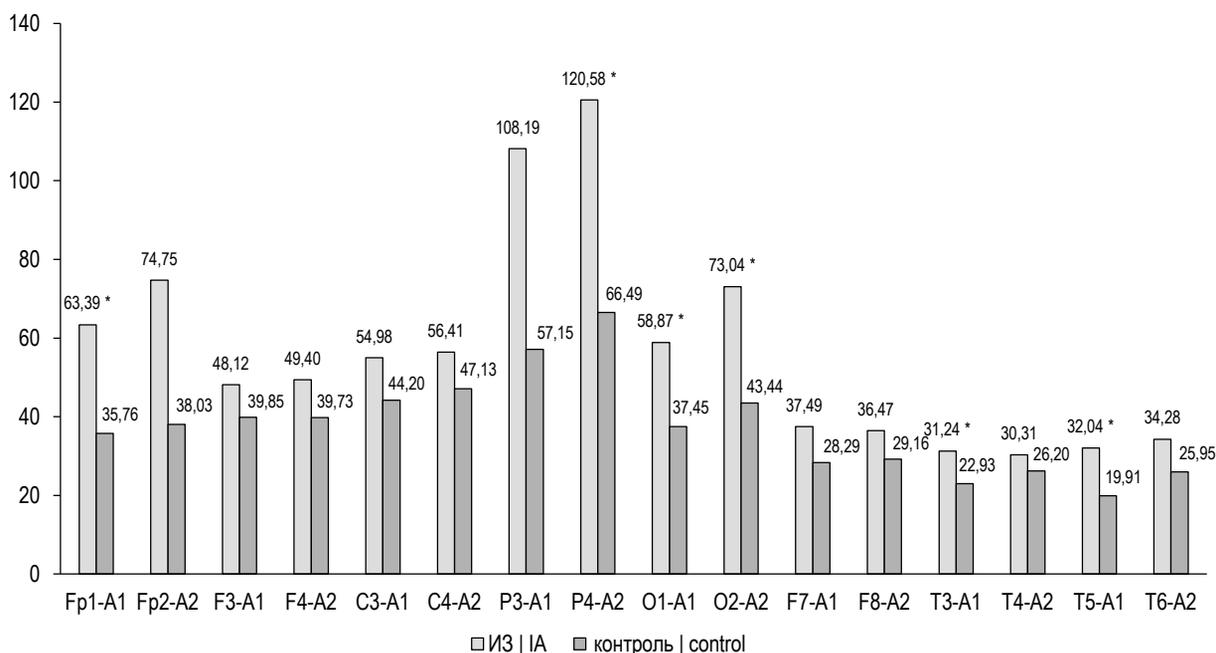


Рис. 2. Полная мощность спектра (диапазон 0,5–35 Гц), μV^2 . На графике представлены медианные значения: ИЗ — интернет-зависимые; контроль — контрольная группа; * статистическая значимость отличий показателей аддиктов от контрольной группы (статистические данные в тексте).

Fig. 2. Total power of the spectrum (range 0.5–35 Hz), μV^2 . The graph shows the median values: IA — internet addicts; control — control group; * statistical significance of differences in the indicators between the addicts (IA) and the control group (control) (statistical details are in the text).

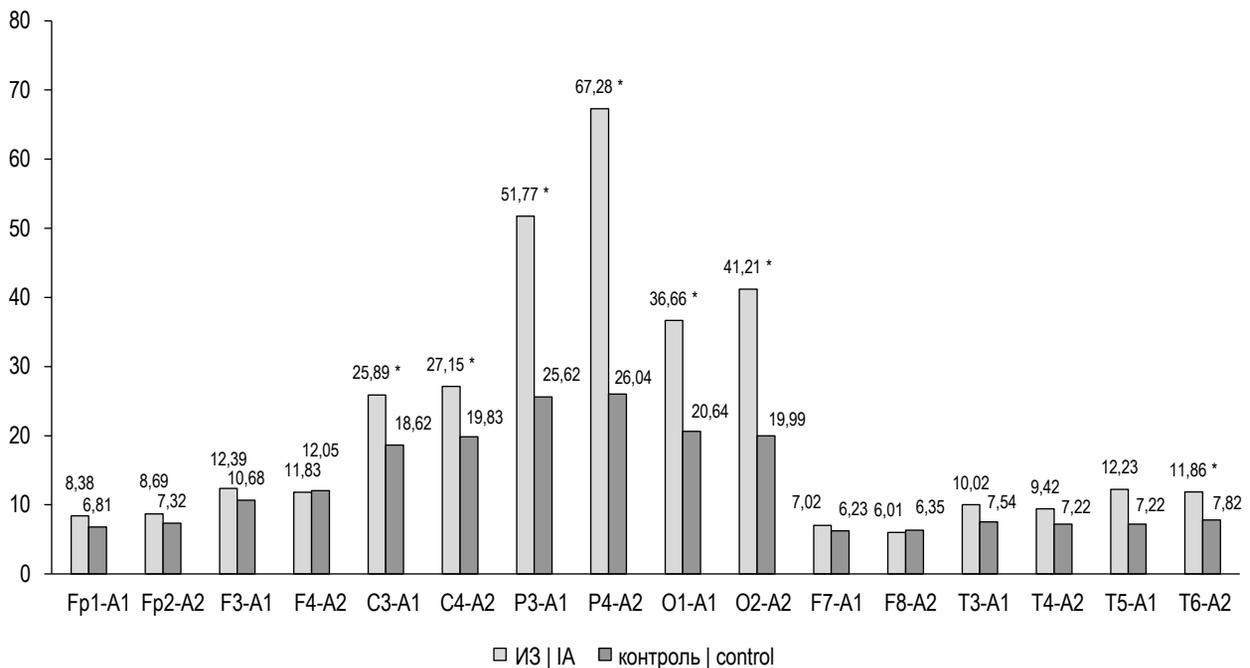


Рис. 3. Полная мощность спектра в альфа-диапазоне (8–14 Гц), μV^2 . На графике представлены медианные значения: ИЗ — интернет-зависимые; контроль — контрольная группа; * статистическая значимость отличий показателей аддиктов от контрольной группы (статистические данные в тексте).

Fig. 3. Full spectrum power in the alpha range (8–14 Hz), μV^2 . The graph shows the median values: IA — internet addicts; control — control group; * statistical significance of differences in the indicators between the addicts and the control group (statistical details are in the text).

задневисочным T_5 ($U=131$; $Z=3,57$; $p=0,001$), T_6 ($U=219$; $Z=2,10$; $p=0,035$), левом и правом теменных P_3 ($U=132$; $Z=3,55$; $p=0,001$), P_4 ($U=150$; $Z=3,27$; $p=0,001$), а также левом и правом затылочных O_1 ($U=89,5$; $Z=4,27$; $p=0,001$), O_2 ($U=183$; $Z=2,71$; $p=0,007$) был значимо больше аналогичных показателей контрольной группы.

Высокочастотные бета-ритмы в состоянии спокойного бодрствования представлены были незначительно без градиентов и локализаций и имели более низкие значения в группе аддиктов в правом центральном $C_4 \beta_1$ ($U=217$; $Z=2,14$; $p=0,032$), $C_4 \beta_2$ ($U=138$; $Z=3,46$; $p=0,001$), левом теменном $P_3 \beta_1$ ($U=224$; $Z=2,02$; $p=0,043$), $P_3 \beta_2$ ($U=180$; $Z=2,76$; $p=0,005$), правом теменном $P_4 \beta_1$ ($U=172$; $Z=2,88$; $p=0,003$), $P_4 \beta_2$ ($U=132$; $Z=3,56$; $p=0,001$) и правом затылочном $O_2 \beta_1$ ($U=218$; $Z=2,11$; $p=0,034$) отведениях.

ОБСУЖДЕНИЕ

Отмеченное нами распределение выборки молодых людей по типам ЭЭГ исходя из критериев классификации Е.А. Жирмунской имеет в значительной степени условный характер. С другой стороны, отнесение паттерна биоэлектрической активности к тому или иному типу основывалось на объективных данных компьютерного анализа зарегистрированных потенциалов мозга с дальнейшим количественным описанием структуры ЭЭГ, что позволяет унифицировано подойти к описанию нейрофизиологических особенностей деятельности мозга и нивелировать

субъективный взгляд исследователя. Обсуждая типологическую стратификацию испытуемых по особенностям генерации ритмов мозга, важно также отметить, что картина частотно-амплитудных паттернов ЭЭГ может свидетельствовать как о возникновении статичных донозологических или даже патологических процессов в мозге, так и о влиянии кратковременных факторов, обусловленных психофункциональным состоянием испытуемого (компульсивные переживания от пребывания в сети Интернет, тревога и переживания при синдроме отмены и пр.).

Выявленное нами распределение по типам ЭЭГ в группе интернет-зависимых юношей указывает на хорошую сформированность биоэлектрической активности мозга, что соответствует оптимальному балансу между влиянием активирующих мезэнцефальных структур и синхронизирующим диэнцефальным воздействием. Особенно такое распределение типов ЭЭГ выделяется на фоне контрольной группы, в которой до четверти выборки испытуемых имели десинхронный III тип с низкой представленностью альфа-компоненты и заменой её на тета- и бета₁-ритмы.

В работе А.И. Рабадановой [2], напротив, отмечается, что III тип ЭЭГ как раз характерен для интернет-аддиктов при снижении альфа-колебаний и преобладании бета- и тета-активности. Автор связывает это с высоким напряжением в деятельности ретикулярной формации ствола головного мозга аддиктов и подавлением активности ГАМК-нейронов ретикулярного ядра таламуса. Ослабление альфа-ритма у интернет-зависимых автор объясняет

напряженным состоянием таких лиц и нарушением у них баланса систем «активация-торможение» в ЦНС.

Как отмечает в своих исследованиях Д.Б. Дёмин [21], выраженная интернет-зависимость в сочетании с развитой нормальной ЭЭГ даже у подростков может быть детерминирована своего рода психической зрелостью, адаптированностью механизмов центральной нервной системы к избыточному использованию сети Интернет и психоэмоциональной компенсацией, не препятствующей нормальному электрогенезу головного мозга.

Интегральные показатели мощности спектра ЭЭГ всего диапазона исследуемых частот и альфа-полосы наряду с индексом ритма используются как значимые факторы описания функционального состояния головного мозга испытуемых в целом и возможных изменений, вызванных аддиктивными проявлениями интернет-зависимости, в частности. Значимо более высокие показатели мощности спектра всего и альфа-диапазона у группы интернет-зависимых лиц в нашем исследовании при сохранении нормальной локализации и лобно-затылочного градиента не указывали на какую-либо дисфункцию ЦНС у аддиктов. Как показывают исследования Е.В. Кривоноговой с соавт. [26], увеличение мощности фоновых альфа-осцилляций может свидетельствовать о снижении коркового тормозного контроля на подкорковые центры и усилении гипоталамических диэнцефальных влияний на активность ЦНС и генерацию ЭЭГ.

Напротив, в исследованиях А.И. Рабадановой с соавт. [2] и Н.Д. Сорокиной с соавт. [5] было зафиксировано: значительное снижение показателей суммарной мощности спектра ЭЭГ у лиц с интернет-аддикцией, особенно в альфа-диапазоне; появление доминирующего бета-ритма, со смещением его в центральные и затылочные отделы; представленность у аддиктов диффузного тета-ритма без выраженной локализации или с нетипичной локализацией в каудальных областях. Все это, по мнению исследователей, указывает на нарушение стабилизации электрической активности коры больших полушарий, неуравновешенность процессов возбуждения и торможения в ЦНС, снижение уровня бодрствования, а также повышенную тревожность интернет-зависимых.

Анализ показателей индекса ритма в низкочастотных диапазонах, особенно в тета-полосе, позволяет нам обратиться к рассмотрению концепции нейробиологических коррелятов двух форм поведения: оборонительного и ориентировочно-исследовательского [20]. Так, если рассматривать индекс тета-осцилляций как отражение активации механизмов неспецифического внимания и ориентировочного поведения, а его снижение как показатель оборонительных реакций, то в группе аддиктов мы наблюдали некоторые проявления оборонительной формы поведения, тормозящей исследовательские реакции испытуемых. В то же время статистически более

выраженные значения индекса ритма в альфа-диапазоне у интернет-зависимых испытуемых в левых фронтальных и центральных, а также в каудальных областях могли свидетельствовать о повышенной активации диэнцефальных структур на фоне тревожно-оборонительных реакций в этой группе.

Меньшая представленность индексов высокочастотных ритмов бета₁- и бета₂-полосы у интернет-зависимых в нашем исследовании, также могла указывать на торможение нейрональных структур, ответственных за поисковую активность, что вероятно сопряжено с компульсивными компонентами оборонительного поведения аддиктов.

Возможно в нашем исследовании и работах коллег наблюдаются разные нейрофизиологические этапы (стадии) формирования аддиктивного симптомокомплекса испытуемых, чем и обусловлены такие различия в данных.

В ряде исследований [17, 27] отмечается, что усиление альфа-осцилляций фоновой ЭЭГ может тесно коррелировать с понижением уровня тревожности, блокировать активную обработку информации в головном мозге и служить маркером состояния стресса испытуемых.

Можно предположить, что интернет-аддикты, принявшие участие в нашем исследовании, имели сформировавшуюся устойчивую к стресс-воздействиям функциональную систему организма, эффективно работающую на фоне выраженных симптомов зависимости и чрезмерного включения сети Интернет в их жизнь.

Ограничения исследования. В качестве некоторых ограничений настоящего исследования можно указать малый объём выборки интернет-зависимых испытуемых и отсутствие «промежуточной» когорты лиц с риском возникновения интернет-зависимости, что, впрочем, не препятствует проведению сравнительного анализа биоэлектрической активности мозга в группе выраженных аддиктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Феномен интернет-зависимости — это сложное и, что более важно, динамическое психофункциональное состояние человека, имеющее различные линейные и циклические стадии развития, которые на каждом этапе могут характеризоваться уникальными нейрофизиологическими особенностями. Соответственно, генерация ЭЭГ и паттерны биоэлектрической активности, полученные в нашем исследовании, вероятно отражают определенную (развитую) стадию аддиктивного процесса, при котором не отмечаются выраженные негативные ЭЭГ-проявления интернет-зависимости на фоне сформированных у аддиктов адаптационных механизмов к такому образу жизнедеятельности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. 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).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

Этический комитет. Все участники исследования до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утвержденную в составе протокола исследования этическим комитетом.

Приложение 1. Индекс ритма электроэнцефалограммы по основным отведениям, Me (Q1–Q3)
(doi: 10.17816/humeco568123-4187365)

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors 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).

Funding source. No external funding.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Ethics approval. Written consent was obtained from all the study participants before the study. The study protocol was approved by the local ethical committee.

Supplement 1. Electroencephalogram rhythm index by main leads, Me (Q1–Q3) (doi: 10.17816/humeco568123-4187365)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин В.Л., Хомерики Н.С., Смирнова Е.А., Антоненко А.А. Интернет-зависимое поведение // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2011. Т. 111, № 8. С. 86–92.
2. Рабаданова А.И., Черкесова Д.У., Бабаева Э.М., Ашурбекова М.И. Электрическая активность мозга и межполушарные взаимодействия при формировании интернет-зависимости // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2. С. 518–522.
3. Regard M., Knoch D., Gutling E., Landis T. Brain damage and addictive behavior: a neuropsychological and electroencephalogram investigation with pathologic gamblers // *Cognitive and Behavioral Neurology*. 2003. Vol. 16, N 1. P. 47–53. doi: 10.1097/00146965-200303000-00006
4. Weinstein A., Livny A., Weizman A. New developments in brain research of internet and gaming disorder // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2017. Vol. 75. P. 314–330. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.01.040
5. Сорокина Н.Д., Перцов С.С., Селицкий Г.В., и др. Нейрофизиологические и клинико-биологические особенности интернет-аддикции // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2019. Т. 119, № 12. С. 51–56. doi: 10.17116/jnevro201911912151
6. Антропова Л.К., Андронникова О.О., Куликов В.Ю., Козлова Л.А. Интернет-зависимость и ее взаимосвязь с межполушарной асимметрией и поведенческими особенностями личности // Медицина и образование в Сибири. 2011. № 3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-zavisimost-i-ee-vzaimosvyaz-s-mezhpulusharnoy-asimmetriy-i-povedencheskimi-osobennostyami-lichnosti> Дата обращения: 31.07.23.
7. Lee J., Hwang J.Y., Park S.M., et al. Differential resting-state EEG patterns associated with comorbid depression in Internet addiction // *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*. 2014. Vol. 50. P. 21–26. doi: 10.1016/j.pnpbp.2013.11.016
8. D'Hondt F., Maurage P. Electrophysiological studies in Internet addiction: A review within the dual-process framework // *Addictive Behaviors*. 2017. Vol. 64. P. 321–327. doi: 10.1016/j.addbeh.2015.10.012
9. Burleigh T.L., Griffiths M.D., Sumich A., et al. Gaming disorder and internet addiction: A systematic review of resting-state EEG studies // *Addictive Behaviors*. 2020. Vol. 107. P. 106429. doi: 10.1016/j.addbeh.2020.106429
10. Choi J.-S., Park S.M., Lee J., et al. Resting-state beta and gamma activity in Internet addiction // *International Journal of Psychophysiology*. 2013. Vol. 89, N 3. P. 328–333. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.06.007
11. Dong G., Zhou H., Zhao X. Impulse inhibition in people with Internet addiction disorder: electrophysiological evidence from a Go/NoGo study // *Neuroscience Letters*. 2010. Vol. 485, N 2. P. 138–142. doi: 10.1016/j.neulet.2010.09.002
12. Dong G., Devito E.E., Du X., Cui Z. Impaired inhibitory control in "Internet addiction disorder": a functional magnetic resonance imaging study // *Psychiatry Research*. 2012. Vol. 203, N 2–3. P. 153–158. DOI: 10.1016/j.psychres.2012.02.001
13. Дрепа М.И. Психологический портрет личности интернет-зависимого студента // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2009. № 4. С. 75–81.
14. Рабаданова А.И., Тайгибова З.А. Характерные паттерны ЭЭГ у лиц с нехимической аддикцией // Физиология человека. 2020. Т. 46, № 6. С. 60–69. doi: 10.31857/S0131164620050112
15. Palmiero M., Piccardi L. Frontal EEG Asymmetry of Mood: A Mini-Review // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2017. Vol. 11. P. 224. doi: 10.3389/fnbeh.2017.00224
16. Smith E.E., Reznik S.J., Stewart J.L., Allen J.J.B. Assessing and conceptualizing frontal EEG asymmetry: An updated primer on recording, processing, analyzing, and interpreting frontal alpha asymmetry // *International Journal of Psychophysiology*. 2017. Vol. 111. P. 98–114. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2016.11.005
17. Fumoto M., Sato-Suzuki I., Seki Y., et al. Appearance of high-frequency alpha band with disappearance of low-frequency alpha band in EEG is produced during voluntary abdominal breathing in an eyes-closed condition // *Neuroscience research*. 2004. Vol. 50, N 3. P. 307–317. doi: 10.1016/j.neures.2004.08.005
18. Tsuda N., Hayashi K., Hagihira S., Sawa T. Ketamine, an NMDA-antagonist, increases the oscillatory frequencies of alpha-

- peaks on the electroencephalographic power spectrum // *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2007. Vol. 51, N 4. P. 472–481. doi: 10.1111/j.1399-6576.2006.01246.x.
19. Князев Г.Г., Савостьянов А.Н., Левин Е.А., и др. Электроэнцефалографические корреляты тревожности // *Бюллетень СО РАМН*. 2009. № 1. С. 74–80.
 20. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., и др. Динамика спектральных характеристик ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности // *Физиология человека*. 2021. Т. 47, № 1. С. 20–30. doi: 10.31857/S0131164621010033
 21. Дёмин Д.Б. Мозговая активность у подростков с различным уровнем риска интернет-зависимости // *Экология человека*. 2021. Т. 28, № 6. С. 21–27. doi: 10.33396/1728-0869-2021-6-21-27
 22. Жирмунская Е.А., Лосев В.С. Системы описания и классификация электроэнцефалограмм человека. Москва : Наука, 1984. 79 с.
 23. Тайгибова З.А., Рабаданова А.И. Когерентность ЭЭГ как показатель интегративных процессов головного мозга при интернет-зависимости и игромании // *Физиология человека*. 2022. Т. 48, № 4. С. 80–92. doi: 10.31857/S0131164622040129
 24. Lee J.-Y., Choi J.-S., Kwon J.S. Neurophysiological Mechanisms of Resilience as a Protective Factor in Patients with Internet Gaming Disorder: A Resting-State EEG Coherence Study // *Journal of Clinical Medicine*. 2019. Vol. 8, N 1. P. 49. doi: 10.3390/jcm8010049
 25. Малыгин В.Л., Феклисов К.А., Искандирова А.С. Интернет-зависимое поведение. Критерии и методы диагностики. Москва : МГМСУ, 2011. 32 с.
 26. Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Поскотинова Л.В. Индивидуально-типологические особенности реактивности ЭЭГ-ритмов, сердечно-сосудистой системы и уровня лактоферрина в условиях общего воздушного охлаждения человека // *Физиология человека*. 2021. Т. 47, № 5. С. 67–76. doi: 10.31857/S0131164621040068
 27. Пашков А.А., Дахтин И.С., Харисова Н.С. Электроэнцефалографические биомаркеры экспериментально индуцированного стресса // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология»*. 2017. Т. 10, № 4. С. 68–82. doi: 10.14529/psy170407

REFERENCES

1. Malygin VL, Khomeriki NS, Smirnova EA, Antonenko AA. Internet addictive behavior. *Zhurnal Nevrologii i Psikhatrii imeni S.S. Korsakova*. 2011;111(8):86–92. (In Russ).
2. Rabadanova AI, Cherkesova DU, Babaeva EM, Ashurbekova MI. The brain electric activity and interactions between hemispheres at formation of internet dependence. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2017;19(2):518–522. (In Russ).
3. Regard M, Knoch D, Gutling E, Landis T. Brain damage and addictive behavior: a neuropsychological and electroencephalogram investigation with pathologic gamblers. *Cognitive and Behavioral Neurology*. 2003;16(1):47–53. doi: 10.1097/00146965-200303000-00006
4. Weinstein A, Livny A, Weizman A. New developments in brain research of internet and gaming disorder. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2017;75:314–330. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.01.040
5. Sorokina ND, Pertsov SS, Selitsky GV, et al. Neurophysiological and clinical-biological features of Internet addiction. *Zhurnal Nevrologii i Psikhatrii imeni S.S. Korsakova*. 2019;119(12):51–56. (In Russ). doi: 10.17116/jnevro201911912151
6. Antropova LK, Andronnikova OO, Kulikov VY, Kozlova LA. Internet addiction and its interrelation with interhemisphere asymmetry and behavioural features of the person. *Medicina i Obrazovanie v Sibiri*. 2011;(3). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-zavisimost-i-ee-vzaimosvyaz-s-mezhpolusharnoy-asimmetriy-i-povedencheskimi-osobennostyami-lichnosti>. (In Russ).
7. Lee J, Hwang JY, Park SM, et al. Differential resting-state EEG patterns associated with comorbid depression in Internet addiction. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*. 2014;50:21–26. doi: 10.1016/j.pnpbp.2013.11.016
8. D'Hondt F, Maurage P. Electrophysiological studies in Internet addiction: A review within the dual-process framework. *Addictive Behaviors*. 2017;64:321–327. doi: 10.1016/j.addbeh.2015.10.012
9. Burleigh TL, Griffiths MD, Sumich A, et al. Gaming disorder and internet addiction: A systematic review of resting-state EEG studies. *Addictive Behaviors*. 2020;107:106429. doi: 10.1016/j.addbeh.2020.106429
10. Choi JS, Park SM, Lee J, et al. Resting-state beta and gamma activity in Internet addiction. *International Journal of Psychophysiology*. 2013;89(3):328–333. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.06.007
11. Dong G, Zhou H, Zhao X. Impulse inhibition in people with Internet addiction disorder: electrophysiological evidence from a Go/NoGo study. *Neuroscience Letters*. 2010;485(2):138–142. doi: 10.1016/j.neulet.2010.09.002
12. Dong G, Devito EE, Du X, Cui Z. Impaired inhibitory control in "Internet addiction disorder": a functional magnetic resonance imaging study. *Psychiatry Research*. 2012;203(2–3):153–158. doi: 10.1016/j.psychres.2012.02.001
13. Drepa MI. Psychological portrait of the student with the internet-addiction. *Tomsk State Pedagogical University bulletin*. 2009;(4):75–81.
14. Rabadanova AI, Taygibova ZA. Characteristic EEG Patterns in Individuals with Non-Chemical Addiction. *Human Physiology*. 2020;46(6):60–69. doi: 10.31857/S0131164620050112
15. Palmiero M, Piccardi L. Frontal EEG Asymmetry of Mood: A Mini-Review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2017;11:224. doi: 10.3389/fnbeh.2017.00224
16. Smith EE, Reznik SJ, Stewart JL, Allen JJB. Assessing and conceptualizing frontal EEG asymmetry: An updated primer on recording, processing, analyzing, and interpreting frontal alpha asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*. 2017;111:98–114. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2016.11.005
17. Fumoto M, Sato-Suzuki I, Seki Y, et al. Appearance of high-frequency alpha band with disappearance of low-frequency alpha band in EEG is produced during voluntary abdominal breathing in an eyes-closed condition. *Neuroscience research*. 2004;50(3):307–317. doi: 10.1016/j.neures.2004.08.005

18. Tsuda N, Hayashi K, Hagihira S, Sawa T. Ketamine, an NMDA-antagonist, increases the oscillatory frequencies of alpha-peaks on the electroencephalographic power spectrum. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2007;51(4):472–481. doi: 10.1111/j.1399-6576.2006.01246.x.
19. Knyazev GG, Savostyanov AN, Levin EA, et al. EEG correlates of anxiety. *Bûlleten' Sibirskogo otdeleniâ Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2009;(1):74–80. (In Russ).
20. Dzhebrailova TD, Korobeinikova II, Karatygin NA, et al. Dynamics of EEG Spectral Characteristics in Subjects with Various Trait Anxiety Levels Performing Cognitive Tests. *Human Physiology*. 2021;47(1):20–30. doi: 10.31857/S0131164621010033
21. Demin DB. Brain Activity in Adolescents with Different Internet Addiction Risks. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(6):21–27. doi: 10.33396/1728-0869-2021-6-21-27
22. Zhirmunskaya EA, Losev VS. *Sistemy opisaniya i klassifikaciya elektroencefalogramm cheloveka*. Moscow: Nauka; 1984: 79 p. (In Russ).
23. Taigibova ZA, Rabadanova AI. EEG Coherence as an indicator of integrative brain processes in internet and game addiction. *Human Physiology*. 2022;48(4):80–92. doi: 10.31857/S0131164622040129
24. Lee JY, Choi JS, Kwon JS. Neurophysiological Mechanisms of Resilience as a Protective Factor in Patients with Internet Gaming Disorder: A Resting-State EEG Coherence Study. *Journal of Clinical Medicine*. 2019;8(1):49. doi: 10.3390/jcm8010049
25. Malygin VL, Feklisov KA, Iskandirova AS. *Internet-zavisimoe povedenie. Kriterii i metody diagnostiki*. Moscow: MSUMD; 2011. 32 p. (In Russ).
26. Krivonogova EV, Krivonogova OV, Poskotinova LV. Individual-Typological Features of the Reactivity of EEG Rhythms, Cardiovascular System and Lactoferrin Level in the Conditions of General Air Cooling of a Person. *Human Physiology*. 2021;47(5):67–76. doi: 10.31857/S0131164621040068
27. Pashkov AA, Dakhtin IS, Kharisova NS. Electroencephalographic biomarkers of experimentally induced stress. *Bulletin of the South Ural State University. Series Psychology*. 2017;10(4):68–82. doi: 10.14529/psy170407

ОБ АВТОРАХ

* **Толстогузов Сергей Николаевич**, канд. биол. наук, доцент;
адрес: Российская Федерация, 625003, Тюмень,
ул. Володарского, д. 6;
ORCID: 0000-0003-2332-7543;
eLibrary SPIN: 8187-1821;
e-mail: s.n.tolstoguzov@utmn.ru

Фишер Татьяна Александровна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-9614-9907;
eLibrary SPIN: 8921-7839;
e-mail: fitan72@mail.ru

AUTHORS' INFO

Sergey N. Tolstoguzov, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;
address: 6 Volodarskogo st., 625003 Tyumen, Russian Federation;
ORCID: 0000-0003-2332-7543;
eLibrary SPIN: 8187-1821;
e-mail: s.n.tolstoguzov@utmn.ru

Tatiana A. Fisher, Cand. Sci. (Biol.);
ORCID: 0000-0001-9614-9907;
eLibrary SPIN: 8921-7839
e-mail: fitan72@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author