



¹ Самарский
государственный
медицинский
университет

² Федеральный
исследовательский
центр
фундаментальной
и трансляционной
медицины,
Новосибирск

³ Московский центр
перспективных
исследований

Технология биоуправления в терапии инсомнии: современное состояние и перспективы использования

А.В. Захаров, к.м.н.¹, О.М. Базанова, д.б.н.^{2, 3}, Е.Д. Николенко²

Адрес для переписки: Александр Владимирович Захаров, zakharov1977@mail.ru

Для цитирования: Захаров А.В., Базанова О.М., Николенко Е.Д. Технология биоуправления в терапии инсомнии: современное состояние и перспективы использования. Эффективная фармакотерапия. 2024; 20 (33): 66–72.

DOI 10.33978/2307-3586-2024-20-33-66-72

В статье рассматриваются возможности применения технологии биоуправления (БУ) для лечения инсомнии, характеризующейся нарушением саморегуляции. БУ основано на принципе управления биоэлектрической активностью головного мозга с помощью электроэнцефалографии. Представлены данные о распространенности бессонницы среди взрослого населения, которая может достигать 30% в зависимости от региона и социально-экономических условий. Проанализированы патогенетические особенности инсомнии, связанные с повышенным уровнем возбуждения. Приведены данные о перспективности применения БУ при хронической инсомнии, поскольку оно способствует долгосрочному улучшению за счет тренировки саморегуляции мозговой активности. Перечислены внутренние и внешние факторы, влияющие на эффективность БУ, такие как психологическое и физиологическое состояние пациента. Особое внимание уделено роли когнитивных функций и эмоционального статуса. Хотя БУ обладает потенциалом для снижения уровня возбуждения и улучшения качества сна, остаются вопросы о влиянии ряда факторов на его эффективность. В ходе дальнейших исследований, направленных на разработку персонализированных методов терапии бессонницы, эти аспекты должны быть учтены.

Ключевые слова: инсомния, биологическая обратная связь, биоуправление, саморегуляция

Введение

Биоуправление (БУ) – современная ассистивная технология, с помощью которой человек обучается управлять собственными измеримыми электрофизиологическими параметрами, отражающими физиологические функции, поведение и эмоциональные процессы. Данная технология относится к методу обучения по типу «оперантного кондиционирования», который закрепляет позитивное или желательное поведение. Сказанное означает, что, когда пользователь произвольно меняет собственные параметры биоэлектрической активности электроэнцефалограммы (ЭЭГ),

электрокардиограммы или электромиограммы, в виде обратной связи ему поступают подтверждающие стимулы в качестве вознаграждения [1, 2]. Несмотря на то что принцип любой технологии биологической обратной связи (БОС) основан на использовании сигналов от собственных физиологических параметров и предполагает высокую персонализацию в обучении управлению этими функциями, эффективность БОС-технологии для тренировки саморегуляции, в частности в терапии инсомнии, остается предметом обсуждения [2–5]. Бессонница как один из ярких примеров нарушения саморегуляции затрагивает значительную



часть населения в мире. Согласно данным мета-анализов, глобальная распространенность бессонницы среди взрослых составляет примерно 10–30% и варьирует в зависимости от методологии исследования и применяемых диагностических критериев [6, 7]. В регионах мира распространенность бессонницы зависит от социоэкономических и климатических факторов. Эпидемиологические данные о бессоннице в России ограничены, однако результаты проведенных исследований подтверждают высокую распространенность данного расстройства. По современным оценкам, около 25–30% взрослого населения России страдают различными формами бессонницы. При этом хроническая форма регистрируется у 10–15% населения [6, 7]. Несмотря на разнообразие клинических проявлений инсомнии, а также инсомнических нарушений как синдрома в структуре ряда соматических и психиатрических заболеваний, патогенез инсомнии имеет схожие черты, основанные на нарушении саморегуляции. Исходя из данной гипотезы, предполагается использовать новые стратегии терапии, направленные на снижение уровня возбуждения у пациентов с инсомнией.

С учетом сказанного использование медикаментозной терапии рекомендуется только для достижения краткосрочных эффектов терапии инсомнии и острой инсомнии. Для долгосрочных эффектов, в частности, в терапии хронической инсомнии пока не существует однозначно эффективного решения на основе медикаментозной терапии. Именно поэтому предлагается использовать БУ, направленное на тренинг произвольной саморегуляции.

Эксперты Американской академии медицины сна поддерживают использование различных поведенческих и психологических методов лечения, в том числе краткосрочную терапию, контроль стимулов и обучение релаксации. Как показывают исследования, когнитивно-поведенческая терапия (КПТ) и нейробиоуправление (НБУ) – эффективные методы лечения бессонницы. Комплексный медико-психологический подход, сочетающий психотерапевтические и психофизиологические методы, включая светотерапию и БУ, также продемонстрировал улучшение качества сна и уменьшение выраженности инсомнии.

Реализация рандомизированных исследований признана важным стандартом изучения БУ. Однако трудно представить доказательства эффективности БУ без учета того, что испытуемые в экспериментальной и контрольной группах находились в одинаковых условиях (исходное социально-психологическое и физиологическое состояние, способ обратной связи, количество тренировочных сессий и осведомленность о целях БУ, а также реализации истинной обратной связи). До сих пор окончательно не определено влияние ряда внутренних и внешних факторов на эффективность БУ, которые часто не учитываются

в протоколах проведения и анализе результатов тренинга. Предполагается, что к внутренним факторам относится исходное психологическое [8–10] и физиологическое [11, 12] состояние субъекта, в том числе эндофенотипический индивидуальный частотный паттерн ЭЭГ [13, 14]. Нередко в БУ в качестве обратной связи используются показатели гемодинамики головного мозга, основанные на измерениях гемеоэнцефалографии [15], медленные корковые потенциалы [16], низкоэнергетическая нейробиологическая система контроля [17], функциональная магнитно-резонансная томография [18] и ближняя инфракрасная спектроскопия [19]. Между тем указанные виды обратной связи непригодны для тренировки самоконтроля из-за большой латентности предъявления обратной связи – не менее 1–3 секунд. В связи с этим наиболее перспективным представляется использование ЭЭГ для проведения НБУ как частного случая технологии БУ за счет существенного преимущества в виде высокого временного разрешения. Такое преимущество позволяет оценить величину быстрых изменений нейрональной активности в текущих условиях, что делает ЭЭГ-НБУ наиболее подходящей технологией для получения немедленной обратной связи от быстро протекающих когнитивных и психомоторных функций, а также аффективных процессов [20]. Отдельные исследования демонстрируют, что БУ не имеет специфической эффективности, кроме неспецифического эффекта плацебо, поэтому его нельзя рекомендовать в качестве альтернативы КПТ при бессоннице [21]. Очевидно, это связано с недостаточным учетом факторов, влияющих на эффективность БУ.

Цель – изучить возможности использования БУ в качестве терапии хронической инсомнии и оценить факторы, повышающие его эффективность.

Внутренние факторы, влияющие на эффективность технологии биоуправления

Социоэкономические факторы

У пациента, который предъявляет жалобы на трудности инициации сна, его поддержание или раннее пробуждение в течение не менее трех ночей в неделю на протяжении месяца и более, диагностируют хроническую инсомнию. Эта форма бессонницы зачастую обусловлена влиянием социоэкономических факторов. Безработица и социальная депривация тесно связаны с симптомами бессонницы. Более низкий уровень доходов, образования, а также развод, расставание или овдовение также коррелируют с повышенными показателями бессонницы. Профессиональные факторы, такие как сменная работа, ночные смены и стрессовые ситуации на рабочем месте, могут способствовать развитию бессонницы. Социокультурные факторы, включая семейную динамику и культурные представления о сне, влияют как на субъективные, так и на объективные нарушения сна.



Экономическое влияние бессонницы значительно, оно затрагивает не только отдельных людей, но и общество в целом из-за увеличения временной нетрудоспособности и несчастных случаев на производстве [6]. Сказанное подчеркивает сложное взаимодействие социоэкономических факторов в развитии бессонницы и указывает на необходимость комплексного подхода к ее лечению и профилактике и использования прежде всего подходов, направленных на тренировку саморегуляции.

Психологические факторы

Влияние индивидуальных психологических особенностей субъекта на эффективность техники БУ – вопрос дискуссионный [22]. Оптимальное когнитивное функционирование является важным условием успешного обучения. Однако такие черты личности, как авторитарность, доверчивость и интроспективность, значительно влияют на эффективность любого процесса обучения, включая БУ. В то же время влияние уровня экстраверсии и эмпатии не установлено [23]. При этом различные черты личности отражаются на процессе регуляции эмоций. Лучшее понимание взаимосвязи между чертами «Большой пятерки» и регуляцией эмоций считается важным условием для разработки эффективного БУ БУ [24]. Например, БУ для преодоления стресса эффективнее у людей с высоким уровнем открытости к новому опыту [22]. Возможно, высокий уровень невротизма связан с большей уязвимостью к стрессу, тогда как высокая сознательность и экстраверсия ассоциируются с меньшей уязвимостью к стрессу [25]. Показано, что наиболее успешны в аспекте БУ лица с низкими показателями экстраверсии и умеренно высокими показателями невротизма [26].

Представленная информация крайне полезна для практического применения БУ в целях профилактики и терапии инсомнии с учетом черт личности.

Когнитивные функции

Личностные характеристики значительно влияют на результаты обучения наряду с базовыми когнитивными процессами и способностями. Известно, что такие факторы, как внимание, языковые навыки, способность к планированию, логике, принятию решения, регуляции эмоций, отражаются на эффективности тренинга саморегуляции [27, 28]. Пациенты с инсомнией и более высоким интеллектуальным уровнем могут эффективнее использовать БОС, поскольку обладают лучшей способностью к саморегуляции [29]. В частности, такую интегративную функцию, как контроль действий и эмоций, ассоциируемую с мощностью альфа-ритма ЭЭГ, можно увеличить с помощью БУ [30, 31]. Поскольку когнитивные функции и способность контролировать эмоции изменяются на протяжении жизни, эффективность БУ зависит от возраста [32, 33].

На основании этих данных можно предположить, что специфическая информация о когнитивных способностях полезна для прогнозирования успеха БУ при инсомнии.

Осведомленность

Понимание целей БУ и способов увеличения эффективности обучения саморегуляции редко рассматривается как способ повышения результативности БУ [34]. Осведомленность имеет значение в решении сложных задач в повседневной практике, в частности в способности к саморегуляции, а не в пассивном наблюдении за процессом лечения [35]. Показано, что учебные рекомендации [36] и практика осознанности повышают эффективность БУ [37]. В исследованиях использовали опросник осведомленности о БУ, чтобы оценить, осознавали ли участники экспериментальные цели управления своим вниманием для определения физиологических показателей. Программы терапии инсомнии на основе осознанности (майндфулнесс) эффективны у взрослых с хронической бессонницей и могут служить альтернативой традиционным методам лечения бессонницы [38].

По данным метаанализа 18 исследований с участием 1654 пациентов, практики майндфулнесс могут быть эффективны в лечении, например, продолжительности сна. Однако уровень доказательности в исследованиях, вошедших в метаанализ, варьировал от слабого до умеренного. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования [39]. Следует отметить, что психологические техники, в частности осознанность (дыхание, расслабление, воображение и т.д.) без сигналов обратной связи, менее эффективны для обучения саморегуляции, чем БУ [40]. Установлено, что использование коротких перерывов между сеансами БУ, в которые может быть встроен опросник осведомленности о БУ, способствует повышению осведомленности и эффективности БУ [41].

Таким образом, использование информативных рекомендаций для повышения осведомленности и психофизиологических методов в целях повышения эффективности БУ может служить надежным инструментом для проведения двойных слепых исследований с применением БУ, направленных на решение комплексной задачи – повышение качества сна.

Эмоциональное состояние

Влияние исходного эмоционального состояния на эффективность БУ как в целом, так и при терапии инсомнии изучено недостаточно. Можно предположить, что усталость, стресс, беспокойство или другие негативные эмоции влияют на способность человека концентрироваться, принимать решения и контролировать собственные мысли и поступки [42]. И наоборот: положительные эмоциональные состояния повышают эффективность БУ, помогая человеку лучше концентрироваться,



принимать решения и контролировать действия. Несмотря на то что существует связь между инсомнией и эмоциональной регуляцией, в этой области по-прежнему остается много вопросов. Если когнитивные и поведенческие последствия бессонницы были тщательно изучены в последние десятилетия, то эмпирические данные об эмоциональном опыте в этой области требуют подтверждения [43].

Отдельные формы, например острая инсомния, купируются без назначения терапии, зачастую связаны с острыми стрессовыми факторами, изменениями в окружении или биоритмах (смена часовых поясов или острый стресс). Неудивительно, что нарушения сна затрагивают около 50% людей с повышенной тревожностью, и недостаток сна может спровоцировать или усугубить подобное состояние [44]. В частности, показано, что распространенность бессонницы в России связана с высоким уровнем стрессовых факторов, таких как нестабильная экономическая ситуация, проблемы на работе и тревожные расстройства.

Несмотря на разнообразие клинических проявлений, наличие инсомнии как синдрома в структуре ряда соматических и психиатрических заболеваний, патогенез бессонницы имеет схожие черты. Так, установлена связь инсомнии и эмоционального состояния, которая носит бимодальный характер. Повышенное возбуждение играет ведущую роль в возникновении инсомнии. Бессонница может быть как распространенным симптомом, так и фактором риска развития ряда психических расстройств, включая тревогу и изменение настроения [45].

Результаты исследований позволяют предположить, что инсомния – расстройство, связанное с гипервозбуждением, и лечение должно быть направлено прежде всего на снижение его выраженности [46]. Использование стратегий, направленных на снижение гипервозбудимости, можно рассматривать как метод терапевтического воздействия при лечении хронической инсомнии и способ достижения долгосрочных эффектов. Действительно, БУ, направленное на снижение частоты сердечных сокращений [47] и напряжения лицевых мышц [48], достаточно эффективно в целях профилактики и преодоления бессонницы.

Таким образом, с одной стороны, лечение бессонницы может облегчить многие проблемы с психическим здоровьем. С другой – устранение нарушений сна на самых ранних стадиях способно предотвратить возникновение ряда клинических психических расстройств [49].

В исследованиях продемонстрировано, что БУ эффективнее у пациентов не с легкими, а с более тяжелыми эмоциональными расстройствами. Установлено, что альфа-мощность повышается у лиц с умеренным уровнем тревожности, но снижается у лиц с самым высоким ее уровнем. Позже были

получены аналогичные результаты, согласно которым терапия с помощью БУ эффективнее у пациентов с высоким, а не с низким уровнем стресса на рабочем месте. Влияние психологических факторов отмечается на самых первых этапах БУ, поскольку этот период БУ в значительной степени определяет эффективность всего тренировочного цикла. Но данный эффект систематически не изучался.

Таким образом, в указанных исследованиях выявлено несколько психологических факторов, которые необходимо контролировать, чтобы успешно прогнозировать эффективность БУ.

Учитывая изложенное, перед проведением БУ следует использовать стандартизированные психологические шкалы для оценки исходного состояния испытуемых. Важно, что понимание того, как эмоциональное состояние влияет на изменения сна, может способствовать созданию более эффективных протоколов БУ, направленных на устранение симптомов инсомнии.

Физиологические факторы

Факторы, способствующие развитию бессонницы, включают высокий уровень распространенности сердечно-сосудистых заболеваний, депрессии и тревожных расстройств, а также воздействие сезонных факторов, таких как короткий световой день в северных регионах.

Биологические ритмы

Нередко в исследованиях эффективности БУ биологические ритмы учитываются не в полной мере. Большинство исследований БУ включают краткосрочные (обычно менее часа) экспериментальные процедуры. Однако в соответствии с результатами, демонстрирующими наличие независимых генераторов ритма в различных физиологических системах (перистальтика желудка, почечная экскреция, показатели возбуждения и т.д.) [50], эффективность БУ может зависеть от исходного состояния, связанного с ультрадианной ритмичностью индивидуальной частоты ЭЭГ и субъективной оценкой возбуждения [51]. Поскольку наблюдаемая ультрадианная и циркадная ритмичность ЭЭГ может быть ошибочно интерпретирована как результат обучения в рамках парадигмы БОС, важно, чтобы будущие разработки включали непрерывный контроль исходного уровня физиологических показателей, в частности ЭЭГ. Например, отсутствие и ослабление циркадианных колебаний альфа-мощности высокочастотного диапазона (12–15 Гц) у пожилых людей ассоциируется с нарушением работы циркадианного водителя ритма [52].

Еще одним типом биологического ритма, влияющим на общее самочувствие, эмоциональное состояние и когнитивные функции и редко учитываемым при оценке эффективности БУ, является



менструальный цикл женщин. Как известно, женщины чаще страдают бессонницей по сравнению с мужчинами в силу высокой распространенности тревожных и депрессивных расстройств на низкогормональных стадиях менструального цикла. Частота индивидуального альфа-пика (iAPF, англ. Individual Alpha Peak Frequency), равно как и интенсивность нейрональной активации, зависит от уровня половых гормонов. При этом наибольшая обучаемость саморегуляции наблюдается во время фазы с самым высоким уровнем прогестерона [36]. Хотя объективная продолжительность сна остается неизменной на протяжении всего регулярного бессимптомного менструального цикла, активность на ЭЭГ сна меняется, причем активность сонных веретен заметно возрастает в постовуляторной лютеиновой фазе, когда присутствует прогестерон, по сравнению с фолликулярной фазой. Показано, что снижение iAPF на низкогормональных стадиях цикла женщин связано с повышением показателей бессонницы [53]. Такая же обратная корреляция между частотой альфа-пика ЭЭГ и инсомнией [54], вероятно, лежит в основе бессонницы у пожилых людей и лиц с хроническими заболеваниями, например артериальной гипертензией, сахарным диабетом и депрессивными расстройствами. Таким образом, при анализе эффективности БУ необходимо учитывать биологические ритмы и связанные с ними показатели гормонального состояния.

Заключение

Биоуправление представляет перспективный метод лечения инсомнии, направленный на обучение пациентов саморегуляции. В последние годы интерес к этой технологии как к безопасной альтернативе медикаментозным средствам лечения хронической инсомнии заметно возрос. Одним из ключевых преимуществ БУ является отсутствие необходимости в использовании лекарственных препаратов, что предотвращает риск развития побочных эффектов

и эффекта привыкания. Это особенно важно для пациентов, чувствительных к медикаментам или имеющих противопоказания к их приему. БУ позволяет настраивать терапию исходя из индивидуального состояния пациента, что повышает эффективность лечения, поскольку учитывает персональные физиологические и психологические особенности. В отличие от медикаментозных средств, которые часто оказывают временное действие и требуют постоянного приема, БУ направлено на долговременное улучшение сна за счет обучения пациента саморегуляции. Достигнутые терапевтические эффекты могут наблюдаться в течение нескольких месяцев по окончании терапии.

Вместе с тем существуют ограничения для использования БУ в клинической практике. Несмотря на обнадеживающие результаты, не все пациенты одинаково реагируют на терапию с помощью БОС. Исследования показывают, что примерно у 10–20% пациентов не отмечается значимого улучшения сна. Это требует дальнейшего изучения факторов, влияющих на эффективность терапии и используемых при БУ [55]. Один из главных недостатков ЭЭГ-НБУ заключается в том, что необходимо использовать индивидуально определяемые частотные показатели ЭЭГ, редко учитываемые исследователями [56]. В связи с этим применение БУ требует сложного оборудования и квалифицированных специалистов для проведения терапии и интерпретации данных. Это может ограничивать доступность метода в некоторых медицинских учреждениях или регионах. Перспективы использования БУ для лечения бессонницы связаны с дальнейшим развитием технологий и методов анализа ЭЭГ. Более продвинутые алгоритмы анализа данных и внедрение искусственного интеллекта способны улучшить точность диагностики и прогнозирование эффективности лечения. Кроме того, разработка мобильных и более доступных устройств для домашнего использования позволит значительно расширить доступ пациентов к этой терапии. *

Литература

1. Kamiya J. Operant control of the EEG alpha rhythm and some of its reported effects on consciousness / Altered states of consciousness. Wiley, 1969; 519–529.
2. Ros T., Enriquez-Geppert S., Zotev V., et al. Consensus on the reporting and experimental design of clinical and cognitive-behavioural neurofeedback studies (CRED-nf checklist): Brain. 2020; 143 (6): 1674–1685.
3. Sokhadze T.M., Cannon R.L., Trudeau D.L. EEG biofeedback as a treatment for substance use disorders: review, rating of efficacy, and recommendations for further research. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2008; 33 (1): 1–28.
4. Schönenberg M., Wiedemann E., Schneidt A., et al. Neurofeedback, sham neurofeedback, and cognitive-behavioural group therapy in adults with attention-deficit hyperactivity disorder: a triple-blind, randomised, controlled trial. Lancet Psychiatry. 2017; 4 (9): 673–684.
5. Alkoby O., Abu-Rmileh A., Shriki O., Todder D. Can we predict who will respond to neurofeedback? A review of the inefficacy problem and existing predictors for successful EEG neurofeedback learning. Neuroscience. 2018; 378: 155–164.
6. Zakharov A.V., Khivintseva E.V., Pyatin V.F., et al. Melatonin – known and novel areas of clinical application. Neurosci. Behav. Physi. 2019; 49 (1): 60–63.



7. Полуэктов М.Г., Бузунов Р.В., Авербух В.М. и др. Проект клинических рекомендаций по диагностике и лечению хронической инсомнии у взрослых. *Неврология и ревматология*. Приложение к журналу *Consilium Medicum*. 2016; 2: 41–51.
8. Fyfe E.R., DeCaro M.S., Rittle-Johnson B. When feedback is cognitively-demanding: the importance of working memory capacity. *Instr. Sci.* 2015; 43 (1): 73–91.
9. Fontanari J.F. Awareness improves problem-solving performance. *Cogn. Syst. Res.* 2017; 45: 52–58.
10. Kadosh K.C., Staunton G. A systematic review of the psychological factors that influence neurofeedback learning outcomes. *NeuroImage*. 2019; 185: 545–555.
11. Bazanova O.M., Kholodina N.V., Nikolenko E.D., Payet J. Training of support afferentation in postmenopausal women. *Int. J. Psychophysiol.* 2017; 122: 65–74.
12. Kerson C., deBeus R., Lightstone H., et al. EEG theta/beta ratio calculations differ between various EEG neurofeedback and assessment software packages: clinical interpretation. *Clin. EEG Neurosci.* 2020; 51 (2): 114–120.
13. Hanslmayr S., Sauseng P., Doppelmayr M., et al. Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2005; 30 (1): 1–10.
14. Bazanova O.M. Alpha EEG activity depends on the individual dominant rhythm frequency. *J. Neurotherapy*. 2012; 16 (4): 270–284.
15. Dias A.M., Van Deusen A.M., Oda E., Bonfim M.R. Clinical efficacy of a new automated hemoencephalographic neurofeedback protocol. *Span. J. Psychol.* 2012; 15 (3): 930–941.
16. Castermans T., Duvinage M., Cheron G., Dutoit T. About the cortical origin of the low-delta and high-gamma rhythms observed in EEG signals during treadmill walking. *Neurosci. Lett.* 2014; 561: 166–170.
17. Zandi Mehran Y., Firoozabadi M., Rostami R. Improvement of neurofeedback therapy for improved attention through facilitation of brain activity using local sinusoidal extremely low frequency magnetic field exposure. *Clin. EEG Neurosci.* 2015; 46 (2): 100–112.
18. Fede S.J., Dean S.F., Manuweera T., Momenan R. A guide to literature informed decisions in the design of real time fMRI neurofeedback studies: a systematic review. *Front. Hum. Neurosci.* 2020; 14: 60.
19. Kohl S.H., Mehler D.M.A., Lührs M., et al. The potential of functional near-infrared spectroscopy-based neurofeedback – a systematic review and recommendations for best practice. *Front. Neurosci.* 2020; 14: 594.
20. Smetanin N., Belinskaya A., Lebedev M., Ossadtchi A. Digital filters for low-latency quantification of brain rhythms in real time. *J. Neural. Eng.* 2020; 17 (4): 046022.
21. Schabus M., Griessenberger H., Gnjezda M.T., et al. Betterthansham? A double-blind placebo-controlled neurofeedback study in primary insomnia. *Brain*. 2017; 140 (4): 1041–1052.
22. Schlatter S., Louisy S., Canada B., et al. Personality traits affect anticipatory stress vulnerability and coping effectiveness in occupational critical care situations. *Sci Rep.* 2022; 12 (1): 20965.
23. Ancoli S., Green K.F. Authoritarianism, introspection, and alpha wave biofeedback training. *Psychophysiology*. 1977; 14 (1): 40–44.
24. Travis T.A., Kondo C.Y., Knott J.R. Personality variables and alpha enhancement: a correlative study. *Br. J. Psychiatry*. 1974; 124 (583): 542–544.
25. Bibbey A., Carroll D., Roseboom T.J., et al. Personality and physiological reactions to acute psychological stress. *Int. J. Psychophysiol.* 2013; 90 (1): 28–36.
26. Чернышев Б.В., Осокина Е.С., Илюшина Н.В. и др. Зависимость успешности прохождения альфа-тренинга от экстраверсии и нейротизма. *Бюллетень сибирской медицины*. 2013; 12 (2): 72–79.
27. Kettlety S.A., Finley J.M., Leech K.A. Visuospatial skills explain differences in the ability to use propulsion biofeedback post-stroke. *J. Neurol. Phys. Ther.* 2024; 48 (4): 207–216.
28. Nguyen L., Murphy K., Andrews G. Cognitive and neural plasticity in old age: a systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Res. Rev.* 2019; 53: 100912.
29. Ujma P.P., Bódizs R., Dresler M. Sleep and intelligence: critical review and future directions. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 2020; 33: 109–117.
30. Doppelmayr M., Klimesch W., Pachinger T., et al. Individual differences in brain dynamics: important implications for the calculation of event-related band power. *Biol. Cybern.* 1998; 79 (1): 49–57.
31. Doppelmayr M., Klimesch W., Stadler W., et al. EEG alpha power and intelligence. *Intelligence*. 2002; 30 (3): 289–302.
32. Diamond A. Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.* 2013; 64 (1): 135–168.
33. Boynton T. Applied research using alpha/theta training for enhancing creativity and well-being. *J. Neurother.* 2001; 5 (1–2): 5–18.
34. Matsunaga K., Genda E. Biographics art 'I know me': image generation aiming at EEG control by biofeedback. *J. Physiol. Anthropol.* 2005; 24 (1): 139–142.
35. Festa E.K., Bracken B.K., Desrochers P.C., et al. EEG and fNIRS are associated with situation awareness (hazard) prediction during a driving task. *Ergonomics*. 2024; 1–16.
36. Базанова О.М., Вернон Д., Лазарева О.Ю. и др. Влияние альфа-, ЭМГ-биоуправления и техник произвольной саморегуляции на показатели когнитивных функций и альфа-активность ЭЭГ. *Бюллетень сибирской медицины*. 2013; 12 (2): 36–42.



37. Crivelli D., Fronza G., Balconi M. Neurocognitive enhancement effects of combined mindfulness – neurofeedback training in sport. *Neuroscience*. 2019; 412: 83–93.
38. Ong J.C., Manber R., Segal Z., et al. A randomized controlled trial of mindfulness meditation for chronic insomnia. *Sleep*. 2014; 37 (9): 1553–1563.
39. Rusch H.L., Rosario M., Levison L.M., et al. The effect of mindfulness meditation on sleep quality: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Ann. NY Acad. Sci.* 2019; 1445 (1): 5–16.
40. Chikhi S., Matton N., Sanna M., Blanchet S. Mental strategies and resting state EEG: Effect on high alpha amplitude modulation by neurofeedback in healthy young adults. *Biol. Psychol.* 2023; 178: 108521.
41. Vernon D.J. Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2005; 30 (4): 347–364.
42. Labrague L.J., McEnroe-Petitte D.M., Gloe D., et al. A literature review on stress and coping strategies in nursing students. *J. Ment. Health*. 2017; 26 (5): 471–480.
43. Vanek J., Prasko J., Genzor S., et al. Insomnia and emotion regulation. *Neuro Endocrinol. Lett.* 2020; 41 (5): 255–269.
44. Chellappa S.L., Aeschbach D. Sleep and anxiety: from mechanisms to interventions. *Sleep Med. Rev.* 2022; 61: 101583.
45. Alvaro P.K., Roberts R.M., Harris J.K. A systematic review assessing bidirectionality between sleep disturbances, anxiety, and depression. *Sleep*. 2013; 36 (7): 1059–1068.
46. Bonnet M.H., Arand D.L. Hyperarousal and insomnia. *Sleep Med. Rev.* 1997; 1 (2): 97–108.
47. Yen C.-F., Chou W.P., Hsu C.Y., et al. Effects of heart rate variability biofeedback (HRVBF) on sleep quality and depression among methamphetamine users. *J. Psychiatr. Res.* 2023; 162: 132–139.
48. Nicassio P.M., Boylan M.B., McCabe T.G. Progressive relaxation, EMG biofeedback and biofeedback placebo in the treatment of sleep-onset insomnia. *Br. J. Med. Psychol.* 1982; 55 (2): 159–166.
49. Freeman D., Sheaves B., Waite F., et al. Sleep disturbance and psychiatric disorders. *Lancet Psychiatry*. 2020; 7 (7): 628–637.
50. Lavie P., Kripke D.F. Ultradian circa hours rhythms: a multioscillatory system. *Life Sci.* 1981; 29 (24): 2445–2450.
51. Gertz J., Lavie P. Biological rhythms in arousal indices: a potential confounding effect in EEG biofeedback. *Psychophysiology*. 1983; 20 (6): 690–695.
52. Dijk D.-J., Duffy J.F. Novel approaches for assessing circadian rhythmicity in humans: a review. *J. Biol. Rhythms*. 2020; 35 (5): 421–438.
53. Alzueta E., Baker F.C. The menstrual cycle and sleep. *Sleep Med. Clin.* 2023; 18 (4): 399–413.
54. Schwabedal J.T.C., Riedl M., Penzel T., Wessel N. Alpha-wave frequency characteristics in health and insomnia during sleep. *J. Sleep Res.* 2016; 25 (3): 278–286.
55. Zhang J., Zhao H., Xue Y., Liu Y. Impaired glymphatic transport kinetics following induced acute ischemic brain edema in a mouse pMCAO model. *Front. Neurol.* 2022; 13: 860255.
56. Bazanova O.M., Aftanas L.I. Individual EEG alpha activity analysis for enhancement neurofeedback efficiency: two case studies. *J. Neurotherapy*. 2010; 14 (3): 244–253.

Biofeedback Technology in the Treatment of Insomnia: Current State and Prospects for Use

A.V. Zakharov, PhD¹, O.M. Bazanova, PhD^{2,3}, Ye.D. Nikolenko²

¹ Samara State Medical University

² Institute of Molecular Biology and Biophysics, Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk

³ Moscow Center for Advanced Studies

Contact person: Aleksandr V. Zakharov, zakharov1977@mail.ru

The article explores the potential of biofeedback (BFB) technology in the treatment of insomnia, characterized by self-regulation disorders. BFB is based on managing the brain's bioelectrical activity through electroencephalography. The paper presents data on the prevalence of insomnia among adults, which can reach up to 30%, depending on the region and socioeconomic factors. The pathogenesis of insomnia is linked to hyperarousal, with the article discussing how BFB may be a promising approach for chronic insomnia treatment, leading to long-term improvements through brain self-regulation training. The paper also discusses internal and external factors affecting BFB efficacy, such as the patient's psychological and physiological state. Cognitive functions and emotional conditions are particularly emphasized. While BFB shows potential for reducing hyperarousal and improving sleep quality, questions remain regarding the influence of various factors on its effectiveness. Further research should address these aspects to develop more personalized insomnia therapy approaches.

Keywords: insomnia, biofeedback, biocontrol, self-regulation