

А.М. Зияшева\*, Г.К. Датхабаева

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан  
\*Автор для корреспонденции: ziyasheva.ayzada@gmail.com

## Оценка потенциала нейробиоуправления для терапии ожирения по данным литературы

В статье дана оценка перспектив применения технологии саморегуляции функционального состояния мозга с опорой на биологическую обратную связь по параметрам ЭЭГ (ЭЭГ-биоуправление/нейробиоуправление) при лечении ожирения — хронического заболевания, распространенность которого приобрела масштабы мировой эпидемии, являющегося весомым фактором риска таких социально-значимых заболеваний, как болезни системы кровообращения, определённые виды рака, диабет второго типа, а также целого ряда других хронических неинфекционных и инфекционных заболеваний, включая тяжелое течение COVID-19 и его осложнения, и требующего длительной комплексной терапии. Рассмотрена сущность технологии биоуправления на основе биологической обратной связи (БОС), которая заключается в тренировке способности субъекта сознательно управлять определенными физиологическими параметрами своего организма для приведения их значений к оптимальным показателям, соответствующим здоровому функционированию организма в целях улучшения здоровья и работоспособности. Развитие способности к саморегуляции при помощи БОС происходит с опорой на показатели точных приборов, измеряющих тренируемые физиологические параметры, такие как показатели мозговой активности, сердечной деятельности, дыхания, мышечной активности и температуры кожи. Авторами приведено нейробиологическое обоснование целесообразности и эффективности ЭЭГ-биоуправления в терапии ожирения, освещаются применявшиеся протоколы БОС-терапии ожирения и ассоциированных с ним нарушений пищевого поведения, благодаря которым удается путем нейромодуляции оптимизировать паттерны мозговой активности, восстанавливая нейродинамический баланс регуляторных систем, и самостоятельно приводить себя в устойчивое состояние спокойного бодрствования и психологического комфорта, не прибегая для этого к нездоровой пище.

*Ключевые слова:* ожирение, нейробиоуправление, биологическая обратная связь, пищевое поведение, пищевые аддикции, саморегуляция, ритмы ЭЭГ, нейромодуляция.

### Введение

Ожирение является весомым фактором риска таких социально-значимых заболеваний, как болезни системы кровообращения, определённые виды рака и диабет второго типа, а также целого ряда других хронических неинфекционных и инфекционных заболеваний [1], включая тяжелое течение COVID-19 и его осложнения [2]. При этом проблема избыточной массы тела и ожирения приобрела угрожающие масштабы эпидемии во всем мире [3], включая Казахстан. По данным последних национальных исследований, в Казахстане 54 % мужчин и 53 % женщин страдают избыточной массой тела и ожирением [4]. В связи с высокой распространенностью ожирения и серьёзностью его последствий для жизни и здоровья населения, ВОЗ провозгласила задачу решения проблемы ожирения неотложной задачей общественного здравоохранения [5].

Ожирение как хроническое заболевание характеризуется глубокими нарушениями обмена веществ, связанными с патологически излишним накоплением жира в жировых депо организма. По критериям ВОЗ избыточная масса тела и ожирение идентифицируются на основании значений такого антропометрического показателя, как индекс массы тела (ИМТ), который вычисляется по формуле: отношение массы тела в килограммах к квадрату роста в метрах. Значения ИМТ от 25 до 29,5 кг/м<sup>2</sup> расцениваются как избыточная масса тела (предожирение), а от 30 кг/м<sup>2</sup> и выше — как ожирение.

Многочисленные исследования свидетельствуют, что развитие ожирения детерминировано множеством взаимодействующих факторов, в числе которых психологические [6], социальные [7], поведенческие и биологические [8, 9], в совокупности обуславливающие возникновение хронического положительного баланса энергии в организме, когда количество энергии, потребляемой с пищей, превосходит количество энергии, расходуемой в процессе жизнедеятельности индивидуума. В свою очередь, положительный баланс энергии является результатом переизбытка, с одной стороны, и снижения расхода энергии вследствие пониженной физической активности — с другой [10]. При этом к

избыточному потреблению пищевых калорий может приводить нарушение структуры питания за счет вытеснения из рациона низкокалорийных натуральных цельных продуктов с высокой биологической ценностью (свежие овощи и фрукты, нешлифованные крупы) продуктами высокой технологической переработки, отличающимися высокой энергетической плотностью при низкой биологической ценности (кондитерские изделия, напитки с большим содержанием добавленного сахара, соли и жира) [11].

Сегодня многие исследователи разделяют представление о двух доменах в пищевом поведении. Первый домен объединяет характеристики пищевого поведения, называемые «поведение–приближение к пище», второй — обозначенные как «поведение–избегание пищи». К домену поведения–приближения относятся такие характеристики, как чувствительность индивида к пищевым раздражителям (запах и вкус еды), а также то, в какой степени пища служит для человека источником положительных эмоций или средством само-вознаграждения/само-поощрения или утешения (эмоциогенное переедание, «заедание» отрицательных эмоций). Домен поведение–избегание пищи включает такие характеристики, как чувствительность индивида к сигналам сытости (чувство насыщения), а также насколько отрицательные эмоции влияют на пищевое поведение в плане придирчивости к еде, замедленного поглощения пищи и снижения аппетита при негативных эмоциональных состояниях [12]. При этом выраженность поведения–приближения к пище ассоциирована с избыточной массой тела, тогда как поведение–избегание пищи, напротив, имеет отрицательную корреляцию с массой тела и ИМТ [13, 14]. В частности, у людей с избыточным весом наблюдается повышенная чувствительность к пищевым раздражителям, эмоциогенное переедание и пониженная чувствительность к насыщению [15].

Кроме того, показана также приверженность индивидов с ожирением к высокоуглеводной легкоусвояемой пище [16, 17]. Исследователи предположили, что такое пищевое поведение является компенсаторным и формируется в силу серотонинергической недостаточности, приводящей к сниженной секреции серотонина, участвующего в создании состояния эмоционального комфорта [18, 19], так как при массивном наплыве глюкозы в кровь в мозге усиливается синтез серотонина, то есть стимулируется активность серотонинергических систем [16, 20].

В последние годы широко обсуждается значение пищевой аддикции как одного из этиологических факторов развития ожирения и трудностей его лечения. Закономерно, что индивиды, страдающие ожирением, проявляют по сравнению со здоровыми ровесниками больше признаков пищевой аддикции, которая описывается поведенческими чертами и паттернами нейрхимической и мозговой активности, характерными и для наркотической зависимости. В частности, субъекты с пищевой зависимостью сообщают о наличии тяги к нездоровой еде, росте толерантности к ней (потребности во все большем количестве пищи, чтобы удовлетворить свою нездоровую тягу), признаков абстиненции, о слабой способности контролировать неумеренный прием пищи. Аналогичное поведение наблюдается у людей с наркотической зависимостью по отношению к наркотикам [21].

В силу витальности пищи ее прием тесно связан с активацией мозговой системы эмоционального подкрепления, представленной мезолимбической системой вознаграждения, где в передаче мозговых сигналов критическую роль играет дофамин. Мезолимбическая система призвана побуждать организм к поиску благоприятных для выживания стимулов. Через субъективные гедонические переживания, генерируемые при возбуждении мезолимбического пути, индивид как бы поощряется за удачный выбор, который в эволюционном развитии человека мог иметь большое значение для выживания человека как вида. Например, прием сладкой пищи сопровождается чувством наслаждения, поскольку такая пища — быстрый источник энергии для организма.

Исследования с нейровизуализацией выявили, что у людей с ожирением зоны мозга, вовлеченные в создание субъективного ощущения награды, особенно сильно активируются именно пищевыми стимулами [22]. При этом у таких пациентов установлен более низкий по сравнению с нормотрофными индивидуумами базальный уровень дофамина (трансммиттера нейросети вознаграждения), а также пониженная плотность рецепторов дофамина в стриатуме (одной из ключевых структур нейросети вознаграждения) [23], что, по-видимому, обуславливает дефицит возбуждения мозговой системы вознаграждения. По мнению Wang и соавторов [24], индивидуумы с дефицитом активации нейросетей вознаграждения многократно прибегают к перееданию для его компенсации, что приводит к хроническому привычному перееданию и, соответственно, набору лишнего веса. Предполагается, что при регулярном обильном потреблении продуктов с высоким гликемическим индексом (ГИ), то есть продуктов, резко и быстро повышающих уровень глюкозы в крови (продукты с высоким содержи-

ем сахара, рафинированные продукты пищевой промышленности, подвергшиеся глубокой технологической переработке), нарушается нормальная выработка дофамина, и для хорошего самочувствия человеку со временем требуется все большие порции продуктов с высоким ГИ, а отказ от вредной пищи вызывает признаки абстиненции, что осложняет терапию ожирения [25].

Вместе с тем, у индивидов с избыточным весом наблюдается недостаточная активация зон мозга, отвечающих за возникновение ощущения сытости, сознательный контроль поведения, управление вниманием, торможение импульсных побуждений [24, 26, 27]. На психологическом уровне у пациентов с ожирением отмечается повышенная уязвимость эмоциональной сферы, подверженность негативным эмоциональным переживаниям, тревожности, депрессии и другим эмоциональным расстройствам [28–30].

Указанные факторы могут лежать в основе пищевого поведения, ассоциированного с ожирением и характеризующегося низкой устойчивостью к пищевым соблазнам, усиленной реакцией на пищевые раздражители (желание поест при виде и запахе привлекательных блюд), и, как следствие, склонностью к перееданию, включая эмоциогенное, приверженностью к высококалорийной, легкоусвояемой высокоуглеводной пище, а также тем, что еда служит сверхважным источником удовольствия. В литературе констатируется, что ожирение с трудом поддается лечению, которое заключается главным образом в следовании здоровой низкокалорийной диете и оптимизации режима физической активности, а достигнутые успехи по снижению веса часто нивелируются в силу возраста пациентов к нездоровым пищевым привычкам [25].

В связи с повторяющимися неудачами пациентов в борьбе с лишним весом и в поддержании достигнутых результатов по снижению веса проводится интенсивный поиск новых оптимальных и эффективных путей его лечения. Потенциальный риск получения побочных эффектов от фармакотерапии побуждает исследователей уделять повышенное внимание альтернативным немедикаментозным подходам, позволяющим добиться стойкого положительного результата без вреда для здоровья. Одним из таких перспективных методов терапии ожирения является технология с биологической обратной связью (БОС).

#### *Определение и суть технологии БОС*

В соответствии с официальным определением БОС, совместно с сформулированным Ассоциацией прикладной психофизиологии и биологической обратной связи (ААРВ), Международным альянсом по сертификации биологической обратной связи (BCIA) и Международным обществом нейробиоуправления и исследований (ISNR) в 2008 году, Биологическая обратная связь — это процесс, который позволяет человеку научиться произвольно изменять физиологическую активность функциональных систем собственного организма в целях улучшения здоровья и работоспособности, опираясь на показатели точных приборов, измеряющих тренируемые физиологические параметры, такие как показатели мозговой активности, сердечной деятельности, дыхания, мышечной активности и температуры кожи. Эти приборы быстро и точно «сообщают» информацию тренирующемуся пользователю. Презентирование информации о текущем значении тренируемых параметров в сочетании с произвольными изменениями в мышлении, эмоциях и поведении позволяют поддерживать желаемые физиологические изменения. Со временем эти изменения могут сохраниться без дальнейшего использования аппарата [31].

Суть технологии БОС заключается в тренировке способности субъекта сознательно управлять определенными физиологическими параметрами своего организма для приведения их значений к оптимальным показателям, соответствующим здоровому функционированию организма. Технология биоуправления основывается на способности человека к адаптивной саморегуляции психофизиологических функций, обеспечивающей возможность произвольно контролировать не только собственное поведение, но и определенные физиологические процессы с тем, чтобы нормализовать их в случае морфофункциональных отклонений или нарушений. В свою очередь, совершенствование способности субъекта к сознательной саморегуляции функций базируется на фундаментальном свойстве мозга — нейропластичности, то есть на потенциале к пластической/структурной реорганизации нейросетей под воздействием упражнений. БОС-терапия позволяет пациентам научиться сознательно управлять собственными физиологическими показателями благодаря опоре на БОС, когда индивид включается в контур, замкнутый на определенном целевом функциональном параметре его организма таким образом, что он получает текущую информацию о результатах собственных усилий по контролю целевого параметра. При достижении установленных протоколом БОС-терапии целевых

значений управляемого параметра субъект получает обратную связь в виде визуального или аудиального сигнала.

Цель БОС-терапии — развить навыки эффективной адаптивной саморегуляции у индивида с тем, чтобы субъект мог способствовать самоисцелению организма за счет произвольного стимулирования морфофункциональных паттернов организма, свойственных состоянию нормы, и подавления физиологических паттернов, ассоциированных с морфофункциональными нарушениями. Кроме того, БОС-тренинги используются также и здоровыми индивидами для оптимизации сердечной, мозговой и мышечной активности, что позволяет повысить производительность профессиональной деятельности в таких сферах, как спортивная, музыкальная и др. [32–34], а также улучшить когнитивные и управляющие функции мозга [35, 36].

Общепризнано, что изменения в одной из физиологических систем органов организма человека отражаются на других его системах, так же, как и изменения в одном из элементов функциональной системы влияют на состояние всей системы. Соответственно, положительные эффекты БОС-терапии могут объясняться тем, что произвольное изменение состояния одной части единой функциональной системы, приведение показателей ее функционирования к оптимальным параметрам, вызывает согласованные изменения во всей системе, что в итоге оптимизирует функциональное состояние мозга и организма в целом.

#### *Протоколы БОС-тренингов в терапии различных отклонений в здоровье*

БОС-терапия успешно используется для коррекции многих функциональных нарушений психофизического здоровья, таких как депрессия и другие эмоциональные расстройства [37, 38], синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) [39], различные виды аддикции [40]. Протоколы БОС-тренингов детерминируются особенностями психофизиологических, физиологических и нейрофизиологических паттернов, характерных для определённых отклонений в здоровье, в соответствии с которыми устанавливаются целевые параметры функциональных систем организма, подлежащих саморегуляции в процессе БОС-терапии для приведения показателей к уровню нормы. При этом БОС может применяться для таких показателей, как температура кожи, различные параметры электроэнцефалограммы (ЭЭГ), магнитоэнцефалограммы (МЭГ), функциональной магнитно-резонансной томограммы (fMRI), электрокардиограммы (ЭКГ), артериального давления, дыхания, мышечной активности (ЭМГ) [31]. Например, для реабилитации пост-инсультных пациентов применяется БОС по ЭМГ [41, 42], а для коррекции артериальной гипертензии используют тренинги с БОС по температуре кожи конечностей [43], а также показателям артериального давления [44]. Технология fMRT позволяет визуализировать активность мозговых структур, а также функциональное связывание (коннективность) удаленных друг от друга отделов мозга на основе показателей интенсивности локального мозгового кровотока. При биоуправлении с применением fMRI сигналы обратной связи идут от зон мозга, которые субъект должен произвольно активировать или, наоборот, деактивировать, либо между которыми необходимо усилить функциональную коннективность [45].

В ЭЭГ-биоуправлении в качестве целевых параметров выступают характеристики электрической активности головного мозга (мощность, амплитуда, индекс отдельных ритмов ЭЭГ, и/или соотношение показателей разных ритмов ЭЭГ). Индивид должен снизить либо усилить определенный ЭЭГ-показатель/показатели в заданных БОС-протоколом зонах мозга, чтобы оптимизировать паттерны активности своего мозга [31]. Посредством ЭЭГ-БОС тренинга в центральной нервной системе формируется программа нового навыка, вырабатываются психологические приемы, позволяющие произвольно изменять мозговые процессы в нужном направлении с целью их оптимизации, и как следствие, успешно справляться с нежелательными состояниями, улучшать контроль собственного поведения. Изменяя биоэлектрическую активность мозга и восстанавливая нейродинамический баланс регуляторных систем, человек учится самостоятельно приводить себя в устойчивое состояние спокойного бодрствования и комфорта, не прибегая для этого к медикаментам, алкоголю, наркотикам, сигаретам или нездоровой пище.

Для коррекции депрессивных состояний, тревожных расстройств, а также аддикций применяются протоколы БОС-терапии, направленные на нормализацию мозговой активности при помощи саморегуляции по параметрам ЭЭГ и fMRI [37]. БОС по параметрам ЭЭГ по-другому называется нейробиоуправлением [31]. Для коррекции депрессий используются три типа протоколов ЭЭГ–БОС. Первый из них нацелен на избирательную активацию левой лобной зоны и относительное снижение активности правого полушария (тренинг на левополушарную лобную асимметрию), поскольку при де-

прессии наблюдается недоактивированность левой лобной зоны при гиперактивации лобной области правого полушария головного мозга. Второй тип протоколов ЭЭГ–БОС тренировок призван уменьшить генерацию тета-ритмов ЭЭГ (4–8 Гц) в пользу усиления бета-ритмов (15–28 Гц) в левой префронтальной коре. И третья категория — это протокол альфа/тета, когда пациент учится увеличивать альфа-активность, выраженность которой характерна для расслабленного спокойного бодрствования, одновременно подавляя тета-ритм ЭЭГ, ассоциированный с повышенной тревожностью [46]. Дополнение терапии наркотической зависимости альфа-стимулирующим ЭЭГ-БОС тренингом и альфа/тета нейробиоуправлением повышает эффективность лечения аддикции [40, 47].

Для редукции симптомов тревожности, которая зачастую сопровождает людей с ожирением [30], успешно апробирован протокол ЭЭГ–БОС тренинга по модулированию фронтальной альфа-асимметрии, упоминавшийся выше. Участники учились произвольно повышать активность левой лобной коры относительно правой, так как ранее было показано, что при повышенной активности правой лобной коры относительно левой индивид испытывает негативные эмоциональные переживания, а обратное соотношение соответствует позитивному эмоциональному фону [46, 48].

#### *Нейромодуляция с применением БОС для лечения ожирения*

Как отмечалось выше, при ожирении у пациентов фиксируются определенные изменения мозговой активности, указывающие на повышенную чувствительность мозговой системы эмоционального подкрепления к пищевым раздражителям, и недостаточную активацию нейрональных систем, ответственных за реализацию управляющих функций мозга. На поведенческом уровне ожирение ассоциировано с подверженностью депрессивным расстройствам [49], склонностью к пищевым аддикциям и перееданию, включая эмоциогенное. При этом показано, что БОС-тренинги дают положительный результат при коррекции эмоциональной сферы [46, 48], в борьбе с различными зависимостями, и эффективны для развития и укрепления управляющих функций мозга, то есть аспектов, уязвимость которых характерна для людей с ожирением.

Поскольку биоуправление позволяет модулировать активность нейросетей, исследователи обратились к разработке протоколов БОС для избирательной нейромоуляции мозговых систем, задействованных в контроле эмоционального фона и пищевого поведения, трудностей, которые испытывают пациенты с ожирением. При биоуправлении индивид получает сигналы обратной связи от целевых параметров активности определенных систем головного мозга, в генерирование которых вовлечены мозговые системы, отвечающие за регуляцию эмоциональной сферы и пищевого поведения. Пациент в процессе сеанса БОС-тренинга учится сознательно регулировать заданные параметры с тем, чтобы нормализовать функциональные качества тренируемых нейросетей.

На сегодняшний день опубликовано незначительное число работ по результатам исследований эффективности БОС-нейромодуляции для терапии ожирения и связанных с ним расстройств пищевого поведения. В последнем систематическом обзоре, вышедшем в 2018 году, авторы указывают на 8 работ по этой проблематике, в двух из которых применялось биоуправление по параметрам fMRT, и в шести — ЭЭГ–БОС [50]. При этом в одной из двух работ с применением fMRT исследование проводилось с участием здоровых испытуемых, не страдающих ожирением: участники учились произвольно подавлять активность зон мозга, связанных с аппетитом, при зрительном восприятии аппетитной еды на голодный желудок [51].

В исследовании Kohl и коллег показана эффективность fMRI–БОС тренинга для снижения реактивности на пищевые раздражители и контроля приема нездоровой пищи у лиц с ожирением [52]. Согласно протоколу авторов, испытуемые учились произвольно усиливать активность дорсолатеральной префронтальной коры (длПФК), сниженной у лиц с ожирением по сравнению с нормотрофными субъектами. Благодаря fMRI-БОС тренингу участникам исследования удавалось успешно следовать диетическим рекомендациям для снижения веса. На основании результатов исследования и данных Nare с соавторами (2009) [цит. по 52], которые выявили, что дорсолатеральная префронтальная кора (длПФК) оказывает нисходящее тормозное действие на вентромедиальную префронтальную кору (вмПФК), которая отвечает за обработку субъективной ценности/значимости пищевых продуктов, Kohl с коллегами [52] заключили, что благодаря fMRT-БОС тренингу у испытуемых улучшилась функциональная связь длПФК–вмПФК, что предположительно позитивно повлияло на механизмы контроля приема пищи.

В исследовании Imperatori и соавторов успешно применялся альфа/тета БОС-тренинг для уменьшения признаков пищевой зависимости, где испытуемые должны были произвольно увеличи-

вать амплитуду тета-ритма по отношению в амплитуде альфа-ритма в задних областях мозга, что соответствует состоянию глубокого расслабления в условиях бодрствования. Авторы прибегли к этому протоколу ЭЭГ–БОС, поскольку подобный протокол хорошо зарекомендовал себя при терапии наркотической зависимости [53]. Schmidt и Martin провели пилотное исследование, показав, что ЭЭГ–БОС-тренинг, направленный на подавление высокочастотного бета-ритма (23–28 Гц), выраженность которого коррелирует с растормаживанием приступов переедания у пациентов с ожирением, снижает число эпизодов переедания [54].

#### *Потенциал альфа-стимулирующего тренинга*

Основной ритм ЭЭГ — альфа-ритм ЭЭГ (8–12 Гц) — рассматривается как неоднородный по составу и источнику генерации и полифункциональный по функциональному значению. [55]. В отношении ЭЭГ–БОС терапии ожирения интерес представляет высокочастотный альфа-ритм (10–12 Гц), поскольку он, по широко признанному мнению Klimesch и соавторов (2007), ассоциирован с функцией коры головного мозга по вытормаживанию процессов обработки несущественной и нерелевантной информации, что важно для эффективного выполнения текущих актуальных задач. Способность не отвлекаться на нерелевантные сигналы относится к управляющим функциям мозга, слабость которых зафиксирована у людей, страдающих ожирением.

В этой связи применение альфа-стимулирующего тренинга в комплексной терапии ожирения можно рассматривать как перспективный подход, позволяющий облегчить терапию ожирения как за счет снижения риска негативных эмоциональных переживаний из-за необходимости избегать пищевых соблазнов, так и за счет укрепления дисциплинированности, решимости и стойкости пациентов, страдающих ожирением, в следовании рекомендациям по соблюдению диеты и режима физической активности. Ожидаемый положительный эффект альфа-стимулирующего тренинга можно обосновать тем, что, ввиду нейропластичности такая нейромодуляция усиливает нейросети, ответственные за способность не обращать внимание на разного рода отвлекающие раздражители, в том числе пищевые, сохраняя при этом спокойствие и психологический комфорт, что достигается благодаря укреплению тормозной функции коры, эффективность которой ассоциирована с активацией высокочастотного альфа-ритма.

#### *Заключение*

Таким образом для БОС-терапии ожирения успешно применяются различные физиологические параметры, однако научный поиск наиболее эффективных подходов к конструированию протоколов БОС, осложняющийся полимодальностью и многофакторностью этиологии нарушений физического и психологического здоровья при ожирении, все еще продолжается.

Данные литературы позволяют заключить, что среди всех типов биоуправления для терапии ожирения наиболее релевантным является БОС с нейромодуляцией, где в качестве тренируемых параметров служат те или показатели мозговой активности, поскольку такая БОС-терапия направлена на регуляцию активности мозговых систем, задействованных в контроле эмоционального фона и пищевого поведения, трудностей, которые испытывают пациенты с ожирением. Нейромодуляция с применением неинвазивной технологии fMRI показала свою эффективность для снижения реактивности на пищевые раздражители и контроля приема нездоровой пищи у лиц с ожирением. Однако БОС-fMRI отличается высокой дороговизной и, соответственно, малой доступностью, а также имеет такое противопоказание, как наличие имплантов и брекетов.

В этом отношении ЭЭГ–БОС терапия (нейробиоуправление) обладает рядом преимуществ, в числе которых, кроме неинвазивности, безопасности, отсутствия противопоказаний и побочных эффектов, простота использования и доступность, а также доказанная эффективность ЭЭГ-биоуправления в терапии различных состояний, при которых наблюдаются паттерны мозговой активности, сходные с паттернами, ассоциированными с ожирением.

Приведенные данные дают основание заключить, что технология ЭЭГ-биоуправления обладает большим потенциалом в применении к комплексной терапии ожирения. В частности, нейробиоуправление может стать действенным инструментом для улучшения способности пациентов контролировать свое пищевое поведение, преодолевать нездоровые пищевые и другие поведенческие привычки, не поддаваться пищевым соблазнам, справляться с негативными эмоциональными переживаниями. ЭЭГ–БОС-тренинги могут помочь субъектам научиться индуцировать эмоциональный ком-

форт не за счет потребления вредной пищи, а сознательного управления собственной мозговой активностью.

При этом следует отметить, что существует множество протоколов ЭЭГ–БОС тренировок в применении к терапии различных неоптимальных состояний, и изучение эффективности различных вариантов ЭЭГ–БОС тренировок продолжается, включая разработку и апробацию протоколов нейробиоуправления для терапии ожирения.

### Список литературы

- 1 Seidell J.C. The Global Burden of Obesity and the Challenges of Prevention / J.C. Seidell, J. Halberstadt // *Annals of Nutrition and Metabolism*. — 2015. — Vol. 66, Suppl. 2. — P. 7–12. <https://doi.org/10.1159/000375143>
- 2 Demeulemeester F. Obesity as a Risk Factor for Severe COVID-19 and Complications: A Review / F. Demeulemeester, K. de Punder, M. van Heijningen, F. van Doesburg // *Cells*. — 2021. — Vol. 10 (4). — P. 933. <https://doi.org/10.3390/cells10040933>
- 3 Editorial. Obesity: another ongoing pandemic // *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*. — 2021. — Vol. 6. — P. 411. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(21\)00143-6](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(21)00143-6)
- 4 Sharmanov T. Analysis of obesity prevalence among adults in the southern regions of Kazakhstan by body measurements / T. Sharmanov, S. Tazhibayev, A. Salkhanova, S. Alliyarova, G. Khassenova, A. Chuyenbekova, A. Kozhakhmetova, M. Kainarbayeva, A. Abduldayeva // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. — 2016. — Vol. 7 (1). — P. 2287–2297.
- 5 Report of the Commission on Ending Childhood Obesity. — Geneva: WHO Press, 2016. — 68 p.
- 6 Rohrer J.E. Psychosocial risk factors for obesity among women in a family planning clinic / J.E. Rohrer, B.M. Rohland // *BMC Family Practice*. — 2004. — Vol. 5 (1). — P.20–26. <https://doi.org/10.1186/1471-2296-5-20>
- 7 Brahmhatt M. Social and Physical Determinants of Obesity in Adults / M. Brahmhatt // *Advances in Obesity, Weight Management & Control*. — 2017. — Vol. 6 (1). — P. 17–23. <https://doi.org/10.15406/aowmc.2017.06.00144>
- 8 Narciso J. Behavioral, contextual and biological factors associated with obesity during adolescence: A systematic review / J. Narciso, A.J. Silva, V. Rodrigues, M.J. Monteiro, A. Almeida, E. Saavedra, A.M. Costa // *PLoS One*. — 2019. — Vol. 14 (4). — P. e0214941. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214941>
- 9 Ruhm C.J. Understanding overeating and obesity / C.J. Ruhm // *J Health Econ*. — 2012. — Vol. 31 (6). — P. 781–796. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2012.07.004>
- 10 Hill J.O. The Importance of Energy Balance / J.O. Hill, H.R. Wyatt, J.C. Peters // *Eur Endocrinol*. — 2013. — Vol. 9 (2). — P. 111–115. <https://doi.org/10.17925/EE.2013.09.02.111>
- 11 Laguna-Camacho A. Episodic Frequency of Energy-Dense Food Consumption in Women with Excessive Adiposity / A. Laguna-Camacho, G.A. Castro-Nava, J.A. López-Arriaga // *Biomed Res Int*. — 2017. — Vol. 2017. — P. 5910174. <https://doi.org/10.1155/2017/5910174>
- 12 Molitor S.J. Validity of the Adult Eating Behavior Questionnaire for adolescents treated in a weight management clinic / S.J. Molitor, C.K. Fox, M.O. Bensignor, A.C. Gross // *Int J Obes*. — 2021. — Vol. 45. — P. 1086–1094. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00778-6>
- 13 Hunot C. Appetitive traits and relationships with BMI in adults: Development of the Adult Eating Behaviour Questionnaire / C. Hunot, A. Fildes, H. Croker, C.H. Llewellyn, J. Wardle, R.J. Beeken // *Appetite*. — 2016. — Vol. 105. — P. 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.05.024>
- 14 Webber L. Eating behaviour and weight in children / L. Webber, C. Hill, J. Saxton, van Jaarsveld C.H., J. Wardle // *Int J Obes*. — 2009. — Vol. 33. — P. 21–28.
- 15 Croker H. Appetitive behaviours of children attending obesity treatment / H. Croker, L. Cooke, J. Wardle // *Appetite*. — 2011. — Vol. 57. — P. 525–529.
- 16 Wurtman R.J. Brain serotonin, carbohydrate-craving, obesity and depression / R.J. Wurtman, J.J. Wurtman // *Obes Res*. — 1995. — Vol. 3, Suppl. 4. — P. 477S–480S. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1995.tb00215.x>
- 17 Kim D.Y. Association between dietary carbohydrate quality and the prevalence of obesity and hypertension / D.Y. Kim, S.H. Kim, H. Lim // *J Hum Nutr Diet*. — 2018. — Vol. 31 (5). — P. 587–596. <https://doi.org/10.1111/jhn.12559>
- 18 Jenkins T.A. Influence of Tryptophan and Serotonin on Mood and Cognition with a Possible Role of the Gut-Brain Axis / T.A. Jenkins, J.C. Nguyen, K.E. Polglaze, P.P. Bertrand // *Nutrients*. — 2016. — Vol. 20 (1). — P. 56. <https://doi.org/10.3390/nu8010056>
- 19 Kroes, M.C. Food can lift mood by affecting mood-regulating neurocircuits via a serotonergic mechanism / M.C. Kores, G.A. van Wingen, J. Wittwer, M.H. Mohajeri, J. Kloek, G. Fernández // *NeuroImage*. — 2014. — Vol. 84. — P. 825–832. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.041>
- 20 Leibowitz S.F. Hypothalamic serotonin in control of eating behavior, meal size, and body weight / S.F. Leibowitz, J.T. Alexander // *Biol Psychiatry*. — 1998. — Vol. 44 (9). — P. 851–864. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(98\)00186-3](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(98)00186-3)
- 21 Gearhardt A.N. Preliminary validation of the Yale Food Addiction Scale / A.N. Gearhardt, W.R. Corbin, K.D. Brownell // *National Library of Medicine*. — 2008. — Vol. 52. — P. 430–436.

- 22 Tuulari J.J. Neural circuits for cognitive appetite control in healthy and obese individuals: an fMRI study / J.J. Tuulari, H.K. Karlsson, J. Hirvonen, P. Salminen, P. Nuutila, L. Nummenmaa // *PLoS One*. — 2015. — Vol. 10 (2). — P. e0116640. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116640>
- 23 Volkow N.D. Low dopamine striatal D2 receptors are associated with prefrontal metabolism in obese subjects: possible contributing factors / N.D. Volkow, G.J. Wang, F. Telang, J.S. Fowler, P.K. Thanos, J. Logan, D. Alexoff, Y.S. Ding, C. Wong, Y. Ma, K. Pradhan // *Neuroimage*. — 2008. — Vol. 42 (4). — P. 1537–1543. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.06.002>
- 24 Wang G.J. The role of dopamine in motivation for food in humans: implications for obesity / G.J. Wang, N.D. Volkow, J.S. Fowler // *Expert Opin Ther Targets*. — 2002. — Vol. 6 (5). — P. 601–609. DOI: 10.1517/14728222.6.5.601
- 25 Lennerz B. Food Addiction, High-Glycemic-Index Carbohydrates, and Obesity / B. Lennerz, J.K. Lennerz // *Clin Chem*. — 2018. — Vol. 64 (1). — P. 64–71. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2017.273532>
- 26 Makaronidis J.M. Obesity, body weight regulation and the brain: insights from fMRI / J.M. Makaronidis, R.L. Batterham // *Br J Radiol*. — 2010. — Vol. 91 (1089). — P. 20170910. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170910>
- 27 Batterink L. Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study / L. Batterink, S. Yokum, E. Stice // *Neuroimage*. — 2010. — Vol. 52 (4). — P. 1696–1703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
- 28 Griffiths L.J. Is obesity associated with emotional and behavioural problems in children? Findings from the Millennium Cohort Study / L.J. Griffiths, C. Dezaux, A. Hill // *Int J Pediatr Obes*. — 2011. — Vol. 6 (2–2). — e423–e432. <https://doi.org/10.3109/17477166.2010.526221>
- 29 Kontinen H. Depression, emotional eating and long-term weight changes: a population-based prospective study / H. Kontinen, T. van Strien, S. Männistö, P. Jousilahti, A. Haukka // *Int J Behav Nutr Phys Act*. — 2019. — Vol. 16 (1). — P. 28. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0791-8>
- 30 Garipey G. The association between obesity and anxiety disorders in the population: a systematic review and meta-analysis / G. Garipey, D. Nitka, N. Schmitz // *Int J Obes*. — 2010. — Vol. 34. — P. 407–419. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.252>
- 31 Moss D.P. *Biofeedback: A Practitioner's Guide*. 4th edition / D.P. Moss // Edited by M.S. Schwartz, F. Andrasik. — New York: The Guilford Press, 2016. — 786 p.
- 32 Morgan J.S. Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review / J.S. Morgan, J.A. Molina Mora // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. — 2017. — Vol. 42 (3). — P. 235–245. DOI: 10.1007/s10484-017-9364-2
- 33 Петренко Т.И. Перспективы использования биологической обратной связи для обучения музыкантов-исполнителей / Т.И. Петренко, О.М. Базанова, М.К. Кабардов // *Вестн. РУДН. Сер. Психология и педагогика*. — 2019. — Т. 16, № 4. — С. 495–516. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2019-16-4-495-516>
- 34 Egner T. Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance / T. Egner, J.H. Gruzelier // *Neuroreport*. — 2003. — Vol. 14 (9). — P. 1221–1224. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000081875.45938.d1>
- 35 Vernon D.J. Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research / D.J. Vernon // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. — 2005. — Vol. 30 (4) — P. 347–364. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>
- 36 Viviani G. EEG-neurofeedback and executive function enhancement in healthy adults: A systematic review / G. Viviani, A. Vallesi // *Psychophysiology*. — 2021. — Vol. 58 (9). — P. e13874. <https://doi.org/10.1111/psyp.13874>
- 37 Melnikov M.Y. The Current Evidence Levels for Biofeedback and Neurofeedback Interventions in Treating Depression: A Narrative Review / M.Y. Melnikov // *Neural Plast*. — 2021. — Vol. 2021. — P. 8878857. <https://doi.org/10.1155/2021/8878857>
- 38 Banerjee S. Neurofeedback and Biofeedback for Mood and Anxiety Disorders: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines / S. Banerjee, C. Argáez. — Ottawa: Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health, 2017. — 26 p.
- 39 Enriquez-Geppert S. Neurofeedback as a Treatment Intervention in ADHD: Current Evidence and Practice / S. Enriquez-Geppert, D. Smit, M.G. Pimenta, M. Arns // *Curr Psychiatry Rep*. — 2019. — Vol. 21 (6). — P. 46. <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1021>
- 40 Dehghani-Arani F. Neurofeedback training for opiate addiction: improvement of mental health and craving / F. Dehghani-Arani, R. Rostami, H. Nadali // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. — 2013. — Vol. 38 (2). — P. 133–141. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9218-5>
- 41 Spencer J. Biofeedback for Post-stroke Gait Retraining: A Review of Current Evidence and Future Research Directions in the Context of Emerging Technologies / J. Spencer, S.L. Wolf, T.M. Kesar // *Front Neurol*. — 2021. — Vol. 12. — P. 637199. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.637199>
- 42 Stanton R. Biofeedback improves performance in lower limb activities more than usual therapy in people following stroke: a systematic review / R. Stanton, L. Ada, C.M. Dean, E. Preston // *J Physiother*. — 2017. — Vol. 63 (1). — P. 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.11.006>
- 43 Blanchard E.B. Controlled evaluation of thermal biofeedback in treatment of elevated blood pressure in unmedicated mild hypertension / E.B. Blanchard, G. Eisele, A. Vollmer, A. Payne, M. Gordon, P. Cornish, L. Gilmore // *Biofeedback Self Regul*. — 1996. — Vol. 21 (2). — P. 167–190. <https://doi.org/10.1007/BF02284694>
- 44 Nakao M. Blood pressure-lowering effects of biofeedback treatment in hypertension: a meta-analysis of randomized controlled trials / M. Nakao, E. Yano, S. Nomura, T. Kuboki // *Hypertens Res*. — 2003. — Vol. 26 (1). — P. 37–46. <https://doi.org/10.1291/hypres.26.37>

- 45 Watanabe T. Advances in fMRI Real-Time Neurofeedback / T. Watanabe, Y. Sasaki, K. Shibata, M. Kawato // Trends Cogn Sci. — 2017. — Vol. 21 (12). — P. 997–1010. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.010>
- 46 Dias A.M. A new neurofeedback protocol for depression / A.M. Dias, A. van Deusen // Span J Psychol. — 2011. — Vol. 14 (1). — P. 374–384.
- 47 Старк М.Б. Биоуправление. Теория и практика. / М.Б. Старк, М.С. Шварц. — 4-е изд. — Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. — 350 с.
- 48 Mennella R. Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety / R. Mennella, E. Patron, D. Palomba // Behav Res Ther. — 2017. — Vol. 92. — P. 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
- 49 Blasco B.V. Obesity and Depression: Its Prevalence and Influence as a Prognostic Factor: A Systematic Review / B.V. Blasco, J. García-Jiménez, I. Bodoano, L. Gutiérrez-Rojas // Psychiatry Investig. — 2020. — Vol. 17 (8). — P. 715–724. <https://doi.org/10.30773/pi.2020.0099>
- 50 Imperatori C. Feedback-Based Treatments for Eating Disorders and Related Symptoms: A Systematic Review of the Literature / C. Imperatori, M. Mancini, G. Della Marca, E.M. Valenti, B. Farina // Nutrients. — 2018. — Vol. 10 (11). — P. 1806. <https://doi.org/10.3390/nu10111806>
- 51 Spetter M.S. Volitional regulation of brain responses to food stimuli in overweight and obese subjects: A real-time fMRI feedback study / M.S. Spetter, R. Malekshahi, N. Birbaumer, M. Lühns, A.H. van der Veer, K. Scheffler, S. Spuckti, H. Preissl, R. Veit, M. Hallschmid // Appetite. — 2017. — Vol. 112. — P. 188–195.
- 52 Kohl S.H. Real-time fMRI neurofeedback training to improve eating behavior by self-regulation of the dorsolateral prefrontal cortex: A randomized controlled trial in overweight and obese subjects / S.H. Kohl, R. Veit, M.S. Spetter, A. Günther, A. Rina, M. Lühns, N. Birbaumer, H. Preissl, M. Hallschmid // Neuroimage. — 2019. — Vol. 191. — P. 596–609.
- 53 Imperatori C. Coping food craving with neurofeedback. Evaluation of the usefulness of alpha/theta training in a non-clinical sample / C. Imperatori, E.M. Valenti, G.D. Marca, N. Amoroso, C. Massullo, G.A. Carbone, G. Maestoso, M.I. Quintiliani, A. Contardi, B. Farina // International Journal of Psychophysiology. — 2016. — Vol. 112. — P. 89–97.
- 54 Schmidt J. Neurofeedback reduces overeating episodes in female restrained eaters: a randomized controlled pilot-study / J. Schmidt, A. Martin // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. — 2015. — Vol. 40 (4). — P. 283–295.
- 55 Bazanova O.M. Interpreting EEG alpha activity / O.M. Bazanova, D. Vernon // Neurosci Biobehav Rev. — 2014. — Vol. 44. — P. 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>

А.М. Зияшева, Г.К. Датхабаева

### Әдебиеттегі деректер бойынша семіздікті емдеу үшін нейробиореттеу әлеуетін бағалау

Мақалада қанайналымы жүйесінің аурулары, қатерлісіктің белгілі бір түрлері, екінші типті диабет, сондай-ақ басқа да бірқатар созылмалы инфекциялық емес және инфекциялық аурулар (COVID-19 ауру барысын және оның ұзақ кешенді емдеуді талап ететін асқинуларын қоса) секілді әлеуметтік-маңызды аурулардың күрделі қауіп факторы болатын, таралуы әлемдік эпидемия көлеміне жеткен созылмалы ауру — семіздікті емдеуде ЭЭГ (ЭЭГ-биореттеу/нейробиореттеу) параметрлері бойынша биологиялық кері байланысқа сүйенумен ми қызметі жағдайының өздігінше реттеу технологиясын қолдану болашағын бағалау берілген. Денсаулық пен жұмысқа қабілетті жақсарту мақсатында организмнің сау қызмет етуіне сәйкес келетін оңтайлы көрсеткіштерге келтіру үшін субъектінің өз организмнің белгілі бір физиологиялық параметрлерін саналы реттеу қабілетін жаттықтыруды білдіретін биологиялық кері байланыс негізінде биореттеу технологиясының мәні қарастырылған. Биологиялық кері байланыстың көмегімен өзін-өзі реттеу қабілетін дамыту ми белсенділігінің, жүрек қызметінің, тыныс алудың, бұлшық ет белсенділігі мен тері температурасының көрсеткіштері секілді жаттықтырылатын физиологиялық параметрлерді өлшейтін дәл аспаптардың көрсеткіштеріне сүйенумен өтеді. Мақалада семіздікті емдеудегі ЭЭГ-биореттеудің мақсатқа сай болуының және тиімділігінің нейробиологиялық негіздемесі берілген, семіздікті және оған байланысты тағамдық тәртіптің бұзылыстарын биологиялық кері байланыспен емдеудің қолданылған хаттамалары туралы айтылады, осыларға сай салауатты емес тағамды тұтынбастан, нейромодуляция арқылы ми белсенділігінің үлгілерін оңтайландыруға, реттеу жүйелерінің нейродинамикалық үйлесімін қалпына келтіруге және өзін-өзі тыныш, сергек және психологиялық жайлы қалыптағы тұрақты жағдайға келтіруге болады.

*Кілт сөздер:* семіздік, нейробиореттеу, биологиялық кері байланыс, тағамдық тәртіп, тағамдық тәуелділік, өзін-өзі реттеу, ЭЭГ ырақтары, нейромодуляция.

## Evaluation of the potential of Neurofeedback for the obesity treatment according to the literature data

The article is devoted to the evaluation of prospects of applying the technology of self-regulation of the brain functional state by means of biofeedback using EEG parameters (Neurofeedback) in the obesity treatment — chronic disease, the prevalence of which has reached the scale of a global epidemic. It serves as a serious risk factor for cardiovascular diseases, certain types of cancer, type II diabetes, as well as other chronic non-communicable and infectious diseases, including severe COVID-19 and its complications. The essence of biofeedback technology is constituted in training the subject's ability to voluntarily control certain physiological parameters of own body to bring them to optimal scores which correspond to the healthy functioning of the body for improving health and performance. The development of self-regulation ability through biofeedback is based on the precise instrumental measurements of physiological activity indicators, such as brain activity, the activity of cardiovascular and respiratory systems, muscle activity, and skin temperature. The article provides a neurobiological justification of the expediency and effectiveness of neurofeedback in the obesity treatment; highlights the protocols used for the biofeedback therapy of obesity and associated disturbances of eating behavior; emphasizes the importance of neurofeedback therapy for optimizing brain activity patterns by voluntary neuromodulation, restoring the neurodynamic balance of regulatory systems for driving the subject into a stable state of calm and psychological comfort without resorting to unhealthy food.

**Keywords:** obesity, neurofeedback, biofeedback, eating behavior, food addictions, self-regulation, EEG rhythms, neuromodulation.

### References

- 1 Seidell, J.C., & Halberstadt, J. (2015). The Global Burden of Obesity and the Challenges of Prevention. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 66 (Suppl. 2), 7–12. <https://doi.org/10.1159/000375143>
- 2 Demeulemeester, F., de Punder, K., van Heijningen, M., & van Doesburg, F. (2021). Obesity as a Risk Factor for Severe COVID-19 and Complications: A Review. *Cells*, 10(4); 933. <https://doi.org/10.3390/cells10040933>
- 3 Editorial (2021). Obesity: another ongoing pandemic. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 6(6), 411. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(21\)00143-6](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(21)00143-6)
- 4 Sharmanov, T., Tazhibayev, S., Salkhanova, A., Alliyarova, S., Khassenova, G., Chuyenbekova, A., Kozhakhmetova, A., Kainarbayeva, M., & Abduldayeva, A. (2016). Analysis of obesity prevalence among adults in the southern regions of Kazakhstan by body measurements. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 2287–2297.
- 5 (2016). *Report of the Commission on Ending Childhood Obesity*. Geneva: WHO Press.
- 6 Rohrer, J.E., & Rohland, B.M. (2004). Psychosocial risk factors for obesity among women in a family planning clinic. *BMC Family Practice*. 5(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2296-5-20>
- 7 Brahmabhatt, M. (2017). Social and Physical Determinants of Obesity in Adults. *Advances in Obesity, Weight Management & Control*, 6(1); 17–23. <https://doi.org/10.15406/aowmc.2017.06.00144>
- 8 Narciso, J., Silva, A.J., Rodrigues, V., Monteiro, M.J., Almeida, A., Saavedra, R., & Costa, A.M. (2019). Behavioral, contextual and biological factors associated with obesity during adolescence: A systematic review. *PLOS ONE*, 14(4); e0214941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214941>
- 9 Ruhm, C.J. (2012). Understanding overeating and obesity. *Journal of Health Economics*, 31(6); 781–796. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2012.07.004>
- 10 Hill, J.O., Wyatt, H.R., & Peters, J.C. (2013). The Importance of Energy Balance. *European Endocrinology*, 9(2); 111. <https://doi.org/10.17925/ee.2013.09.02.111>
- 11 Laguna-Camacho, A., Castro-Nava, G.A., & López-Arriaga, J.A. (2017). Episodic Frequency of Energy-Dense Food Consumption in Women with Excessive Adiposity. *BioMed Research International*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2017/5910174>
- 12 Molitor, S.J., Fox, C.K., Bensignor, M.O., & Gross, A.C. (2021). Validity of the Adult Eating Behavior Questionnaire for adolescents treated in a weight management clinic. *International Journal of Obesity*, 45(5); 1086–1094. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00778-6>
- 13 Hunot, C., Fildes, A., Croker, H., Llewellyn, C.H., Wardle, J., & Beeken, R.J. (2016). Appetitive traits and relationships with BMI in adults: Development of the Adult Eating Behaviour Questionnaire. *Appetite*, 105; 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.05.024>
- 14 Webber, L., Hill, C., Saxton, J., Van Jaarsveld, C.H., & Wardle, J. (2009). Eating behaviour and weight in children. *International Journal of Obesity*, 33(1); 21–28. <https://doi.org/10.1038/ijo.2008.219>
- 15 Croker, H., Cooke, L., & Wardle, J. (2011). Appetitive behaviours of children attending obesity treatment. *Appetite*, 57(2); 525–529. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.05.320>

- 16 Wurtman, R.J., & Wurtman, J.J. (1995). Brain Serotonin, Carbohydrate-Craving, Obesity and Depression. *Obesity Research*, 3(54); 477S-480S. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1995.tb00215.x>
- 17 Kim, D.Y., Kim, S.H., & Lim, H. (2018). Association between dietary carbohydrate quality and the prevalence of obesity and hypertension. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31(5); 587–596. <https://doi.org/10.1111/jhn.12559>
- 18 Jenkins, T., Nguyen, J., Polglaze, K., & Bertrand, P. (2016). Influence of Tryptophan and Serotonin on Mood and Cognition with a Possible Role of the Gut-Brain Axis. *Nutrients*, 8(1); 56. <https://doi.org/10.3390/nu8010056>
- 19 Kores, M.C., van Wingen, G.A., Wittwer, J., Mohajeri, M.H., Kloek, J., & Fernández, G. (2014). Food can lift mood by affecting mood-regulating neurocircuits via a serotonergic mechanism. *NeuroImage*, 84; 825–832. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.041>
- 20 Leibowitz, S.F., & Alexander, J.T. (1998). Hypothalamic serotonin in control of eating behavior, meal size, and body weight. *Biological Psychiatry*, 44(9); 851–864. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(98\)00186-3](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(98)00186-3)
- 21 Gearhardt, A.N., Corbin, W.R., & Brownell, K.D. (2008). Preliminary validation of the Yale Food Addiction Scale. *National Library of Medicine*, 52(2); 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.12.003>
- 22 Tuulari, J.J., Karlsson, H.K., Hirvonen, J., Salminen, P., Nuutila, P., & Nummenmaa, L. (2015). Neural Circuits for Cognitive Appetite Control in Healthy and Obese Individuals: An fMRI Study. *PLOS ONE*, 10(2); e0116640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116640>
- 23 Volkow, N.D., Wang, G.J., Telang, F., Fowler, J.S., Thanos, P.K., Logan, J., Alexoff, D., Ding, Y.S., Wong, C., Ma, Y., & Pradhan, K. (2008). Low dopamine striatal D2 receptors are associated with prefrontal metabolism in obese subjects: Possible contributing factors. *NeuroImage*, 42(4); 1537–1543. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.06.002>
- 24 Wang, G., Volkow, N.D., & Fowler, J.S. (2002). The role of dopamine in motivation for food in humans: implications for obesity. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, 6 (5); 601–609. <https://doi.org/10.1517/14728222.6.5.601>
- 25 Lennerz, B., & Lennerz, J. K. (2018). Food Addiction, High-Glycemic-Index Carbohydrates, and Obesity. *Clinical Chemistry*, 64(1); 64–71. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2017.273532>
- 26 Makaronidis, J.M., & Batterham, R.L. (2018). Obesity, body weight regulation and the brain: insights from fMRI. *The British Journal of Radiology*, 20170910. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170910>
- 27 Batterink, L., Yokum, S., & Stice, E. (2010). Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: An fMRI study. *Neuro Image*, 52 (4); 1696–1703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
- 28 Griffiths, L.J., Dezauteux, C., & Hill, A. (2011). Is obesity associated with emotional and behavioural problems in children? Findings from the Millennium Cohort Study. *International Journal of Pediatric Obesity*, 6(2–2); e423-e432. <https://doi.org/10.3109/17477166.2010.526221>
- 29 Kontinen, H., van Strien, T., Männistö, S., Jousilahti, P., & Haukka, A. (2019). Depression, emotional eating and long-term weight changes: a population-based prospective study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16 (1). <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0791-8>
- 30 Garipey, G., Nitka, D., & Schmitz, N. (2010). The association between obesity and anxiety disorders in the population: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Obesity*, 34(3); 407–419. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.252>
- 31 Moss, D.P. (2016). *Biofeedback: A Practitioner's Guide* (4th edition). Edited by Mark S. Schwartz and Frank Andrasik. New York: Guilford Press. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-44.4.09>
- 32 Jiménez Morgan, S., & Molina Mora, J.A. (2017). Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42 (3); 235–245. <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9364-2>
- 33 Petrenko, T.I., Bazanova, O.M., & Kabardov, M.K. (2019). Perspektivy ispolzovaniia biologicheskoi obratnoi svyazi dlia obucheniia muzykantov-ispolnitelei [Prospects for Using Adaptive Biofeedback to Train Musicians]. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. *Seriia Psikhologiya i pedagogika — Bulletin of Russian Peoples' Friendship University, Journal of Psychology and Pedagogics*, 16(4); 495–516. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2019-16-4-495-516> [in Russian].
- 34 Eegner, T., & Gruzelier, J.H. (2003). Ecological validity of neurofeedback. *Neuro Report*, 14(9); 1221–1224. <https://doi.org/10.1097/00001756-200307010-00006>
- 35 Vernon, D. J. (2005). Can Neurofeedback Training Enhance Performance? An Evaluation of the Evidence with Implications for Future Research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(4); 347–364. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>
- 36 Viviani, G., & Vallesi, A. (2021). EEG-neurofeedback and executive function enhancement in healthy adults: A systematic review. *Psychophysiology*, 58 (9). <https://doi.org/10.1111/psyp.13874>
- 37 Melnikov, M.Y. (2021). The Current Evidence Levels for Biofeedback and Neurofeedback Interventions in Treating Depression: A Narrative Review. *Neural Plasticity*, 1–31. <https://doi.org/10.1155/2021/8878857>
- 38 Banerjee, S., & Argáez, C. (2017). *Neurofeedback and Biofeedback for Mood and Anxiety Disorders: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines*. Ottawa: Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531603/>
- 39 Enriquez-Geppert, S., Smit, D., Pimenta, M.G., & Arns, M. (2019). Neurofeedback as a Treatment Intervention in ADHD: Current Evidence and Practice. *Current Psychiatry Reports*, 21 (6). <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1021-4>
- 40 Dehghani-Arani, F., Rostami, R., & Nadali, H. (2013). Neurofeedback Training for Opiate Addiction: Improvement of Mental Health and Craving. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38 (2); 133–141. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9218-5>

- 41 Spencer, J., Wolf, S.L., & Kesar, T.M. (2021). Biofeedback for Post-stroke Gait Retraining: A Review of Current Evidence and Future Research Directions in the Context of Emerging Technologies. *Frontiers in Neurology*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.637199>
- 42 Stanton, R., Ada, L., Dean, C.M., & Preston, E. (2017). Biofeedback improves performance in lower limb activities more than usual therapy in people following stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, *63*(1); 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.11.006>
- 43 Blanchard, E.B., Eisele, G., Vollmer, A., Payne, A., Gordon, M., Cornish, P., & Gilmore, L. (1996). Controlled evaluation of thermal biofeedback in treatment of elevated blood pressure in unmedicated mild hypertension. *Biofeedback and Self-Regulation*, *21*(2); 167–190. <https://doi.org/10.1007/bf02284694>
- 44 Nakao, M., Yano, E., Nomura, S., & Kuboki, T. (2003). Blood Pressure-Lowering Effects of Biofeedback Treatment in Hypertension: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Hypertension Research*, *26*(1); 37–46. <https://doi.org/10.1291/hypres.26.37>
- 45 Watanabe, T., Sasaki, Y., Shibata, K., & Kawato, M. (2017). Advances in fMRI Real-Time Neurofeedback. *Trends Cogn Sci.*, *21* (12); 997–1010. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.010>
- 46 Dias, A.M., & van Deusen, A. (2011). A New Neurofeedback Protocol for Depression. *The Spanish journal of psychology*, *14*(1); 374–384. [https://doi.org/10.5209/rev\\_sjop.2011.v14.n1.34](https://doi.org/10.5209/rev_sjop.2011.v14.n1.34)
- 47 Shtark, M.B., & Shwarc, M. (2002). *Bioupravlenie. Teoriia i praktika [Biofeedback. Theory and Practice]*. 4 ed. Novosibirsk: TsERIS [in Russian].
- 48 Mennella, R., Patron, E., & Palomba, D. (2017). Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety. *Behav Res Ther.* *92*; 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
- 49 Blasco, B. V., García-Jiménez, J., Bodoano, I., & Gutiérrez-Rojas, L. (2020). Obesity and Depression: Its Prevalence and Influence as a Prognostic Factor: A Systematic Review. *Psychiatry Investigation*, *17*(8); 715–724. <https://doi.org/10.30773/pi.2020.0099>
- 50 Imperatori, C., Mancini, M., Della Marca, G., Valenti, E.M., & Farina, B. (2018). Feedback-Based Treatments for Eating Disorders and Related Symptoms: A Systematic Review of the Literature. *Nutrients*, *10* (11); 1806. <https://doi.org/10.3390/nu10111806>
- 51 Spetter, M.S., Malekshahi, R., Birbaumer, N., Lührs, M., van der Veer, A.H., Scheffler, K., Spuckti, S., Preissl, H., Veit, R., & Hallschmid, M. (2017). Volitional regulation of brain responses to food stimuli in overweight and obese subjects: A real-time fMRI feedback study. *Appetite*, *112*; 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.01.032>
- 52 Kohl, S.H., Veit, R., Spetter, M.S., Günther, A., Rina, A., Lührs, M., Birbaumer, N., Preissl, H., & Hallschmid, M. (2019). Real-time fMRI neurofeedback training to improve eating behavior by self-regulation of the dorsolateral prefrontal cortex: A randomized controlled trial in overweight and obese subjects. *Neuroimage*, *191*; 596–609. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.02.033>
- 53 Imperatori, C., Valenti, E.M., Marca, G.D., Amoroso, N., Massullo, C., Carbone, G.A., Maestoso, G., Quintiliani, M.I., Contardi, A., & Farina, B. (2016). Coping food craving with neurofeedback. Evaluation of the usefulness of alpha/theta training in a non-clinical sample. *International Journal of Psychophysiology*, *112*; 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.11.010>
- 54 Schmidt, J., & Martin, A. (2015). Neurofeedback reduces overeating episodes in female restrained eaters: a randomized controlled pilot-study. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, *40* (4); 283–295. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9297-6>
- 55 Bazanova, O.M., & Vernon, D. (2014). Interpreting EEG alpha activity. *Neurosci Biobehav Rev.*, *44*; 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>