

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра инженерной психологии и эргономики

И. И. Хлудеев

СИСТЕМЫ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*Рекомендовано УМО по аграрному техническому образованию
в качестве пособия для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-59 80 01 «Охрана труда и эргономика»*

Минск БГУИР 2023

УДК 57.087:616-091(076)
ББК 28.01я73+58я73
Х60

Рецензенты:

кафедра управления охраной труда
учреждения образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»
(протокол № 3 от 10.10.2022);

доцент кафедры биофизики
Белорусского государственного университета
кандидат биологических наук, доцент Л. К. Герасимова

Хлудеев, И. И.

Х60 Системы с биологической обратной связью : пособие / И. И. Хлудеев. –
Минск : БГУИР, 2023. – 83 с. : ил.
ISBN 978-985-543-709-4.

Рассмотрены теоретические основы, история развития и методики использования систем с биологической обратной связью. Содержит теоретический материал по теме. Приведены примеры практического использования нейробиоуправления в медицине, неврологии, спорте и на транспорте.

УДК 57.087:616-091(076)
ББК 28.01я73+58я73

ISBN 978-985-543-709-4

© Хлудеев И. И., 2023
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Предмет и задачи дисциплины.....	5
2. Физиологические основы нейробиоуправления.....	11
3. Основные положения метода биологической обратной связи	18
4. Традиционные и инновационные технологии биологической обратной связи	23
5. Методы нейробиоуправления.....	30
6. Нейробиоуправление в медицине и неврологии	37
7. Нейромышечная релаксация на основе метода биологической обратной связи	41
8. Применение методов биологической обратной связи в психокоррекции и саморегуляции в лечении детей и спорте	46
9. Нейробиоуправление сердечно-сосудистой системой человека	53
10. Нейробиоуправление в обеспечении функциональной и профессиональной надёжности операторов систем «человек – машина».....	60
11. Технологии биологической обратной связи в обеспечении безопасности функционирования транспортных систем «человек – машина».....	65
12. Перспективы развития технологий нейробиоуправления состоянием человека	71
Список использованных источников.....	81

Введение

Важной тенденцией последних лет является неуклонное увеличение нагрузок и стрессов практически в любом виде профессиональной деятельности человека. Вследствие этого появляются нарушения в работе регуляторных механизмов, которые могут как снижать физическую работоспособность, так и вызывать различные неблагоприятные сдвиги в состоянии здоровья. Современная медицина стремительно развивается, опираясь на достижения естественных наук. Один из путей решения этой проблемы – привлечение эффективных современных и физиологически обоснованных технологий при одновременном использовании рациональной системы комплексной диагностики и коррекции функционального состояния. Использование метода биологической обратной связи (БОС), основанного на фундаментальном знании физиологических механизмов регуляции организма в норме и при патологических процессах, стало основой для создания немедикаментозных методик, которые позволяют проводить коррекцию и совершенствование различных функций организма. БОС-методы направлены на расширение диапазона компенсаторных возможностей организма и обеспечивают оптимальную адаптацию к профессиональным, физическим и психоэмоциональным нагрузкам. Это имеет особую важность для представителей профессий, связанных с экстремальными условиями физических и психологических нагрузок (сотрудники МЧС, спецподразделений, авиадиспетчеры, спортсмены мирового уровня).

Разработаны вариации БОС-метода, которые позволяют решать самые разнообразные задачи: повышать стрессоустойчивость, уменьшать психоэмоциональную напряженность и тревожность, улучшать когнитивные функции (память, мышление); ускорять процесс реабилитации при нарушениях опорно-двигательного аппарата, синдроме нейровегетативных дисфункций, при последствиях инсульта, при психосоматических нарушениях (бронхиальной астме, гастродуодените и др.).

Другой важный аспект использования БОС-технологий состоит в разработке новых физиологических и педагогических моделей коррекции патологий развития детей (ДЦП, синдром дефицита внимания, нарушения речи), а также методов приближения спортсменов к пику спортивной формы без использования медицинских препаратов.

1. Предмет и задачи дисциплины

Биологическая обратная связь (англ. *biofeedback*) – технология, включающая в себя комплекс исследовательских, немедицинских, физиологических, профилактических и лечебных процедур, в ходе которых человеку посредством внешней цепи обратной связи, организованной преимущественно с помощью микропроцессорной или компьютерной техники, предъявляется информация о состоянии и изменении тех или иных собственных физиологических процессов.

Психофизиологические механизмы БОС активизируют процессы саморегуляции, которая наряду с работой других регуляторных систем является физиологической основой стабильности организма. При нарушении равновесия и изменениях гомеостаза организма человека под воздействием различных факторов внешней и внутренней среды (в том числе и физической нагрузки) в результате работы саморегуляторных механизмов на принципе БОС возникает ряд последствий, приводящих к устранению этих нарушений, что способствует возвращению работы функциональных систем в исходное положение.

Используются зрительные, слуховые, тактильные и другие сигналы-стимулы, что позволяет развить навыки саморегуляции за счёт тренировки и повышения лабильности регуляторных механизмов.

Приборы и компьютерные комплексы БОС регистрируют у людей физиологические показатели (параметры) работы какой-либо функциональной системы организма или органа и отображают полученную информацию в доступной форме, например, в виде зрительных и слуховых сигналов обратной связи.

Предметом дисциплины является изучение современного метода биологической обратной связи для активизации внутренних резервов организма с целью восстановления или совершенствования физиологических навыков.

Основные задачи дисциплины:

- сформировать представление о физиологических эффектах обратной связи как о важнейшем принципе организации и функционирования живых систем;
- изучить основные направления и методики применения биологической обратной связи как немедикаментозные методы, повышающие резервные возможности организма;
- изучить способы применения БОС-терапии для лечения и профилактики хронических заболеваний, стабилизации патологического развития;
- изучить специальные БОС-процедуры и тренинги, которые моделируют стрессогенные факторы, усиливают мотивацию к улучшению результатов в спорте, искусстве, применяются в педагогической сфере для развития творческих способностей и повышения эффективности обучения.

В основе принципа обратной связи лежит фундаментальный закон кибернетики, согласно которому эффективность функционирования всякой управляемой системы обусловлена возможностью получать информацию о результатах работы этой системы органом управления. Н. Винер [1] определяет обратную связь как способ регулирования, основанный на непрерывном поступлении новой информации о функционировании системы. Например, для того чтобы осуществить посадку космического корабля на другую планету, Центру управления полётом необходимо непрерывно получать данные о ракете (её скорость, положение в пространстве и расстояние до поверхности планеты). На основании полученных данных проводится коррекция траектории снижения спускаемого аппарата, поскольку без такой информации успешная посадка неосуществима. Нарушение любого звена этой системы (отсутствие информации, невозможность её обработки, передачи сигнала управления или его исполнения) приводит к сбою системы обратной связи, что делает достижение запланированной цели невозможным.

Всякая живая система также функционирует в соответствии с фундаментальными законами природы. Итог обучения человека какому-либо навыку напрямую зависит от степени осознания им успешности выполнения предписанных тренировочных заданий.

Функционирование человеческого организма при кибернетическом подходе можно описать как открытую информационную систему, состоящую из следующих основных элементов [1]:

- 1) источник информации;
- 2) регистратор/передатчик информации;
- 3) канал передачи, или проводник информации;
- 4) приёмник информации;
- 5) потребитель информации;
- б) источник помех.

Источники информации – раздражители (факторы) внешней или внутренней среды, воздействующие на различные рецепторы (зрительный, слуховой, вкусовой, тактильный и др.), каждый из которых выполняет роль *регистратора информации*. В качестве *канала передачи (проводника информации)* выступает нервное волокно, а *приёмником информации* является нейрон, который обрабатывает и передаёт информацию другим нейронам. *Потребители информации* – структуры нервной системы (в головном и спинном мозге). Они оценивают поступающую информацию и обеспечивают реализацию определённого действия, результаты которого по описанной цепочке снова поступают к управляющему органу. Таким образом, весь круг обратной связи замыкается. В случае если обратная связь рассматривается на уровне целостного живого организма, употребляют термин «биологическая обратная связь». Кроме названного в подобной системе могут существовать и свои *источники помех*, вызываемых, например, последствиями травм или патологий нервной системы человека.

Принцип обратной связи лежит в основе всех гомеостатических механизмов, поддерживающих постоянство внутренней среды организма. Так, глубина и частота дыхания зависят от концентрации углекислого газа и кислорода в крови, величина сердечного выброса регулируется интенсивностью физической нагрузки, изменение концентрации гормона инсулина зависит от уровня глюкозы в крови.

Во многих случаях регулирующий механизм обратной связи функционирует на подсознательном уровне. Например, поддержание тела в вертикальном положении с точки зрения физики является весьма сложной задачей, поскольку тело человека имеет большую массу и высоко расположенный центр тяжести, а площадь опоры сравнительно мала. Для такой системы не только импульсы при перемещении всего тела, но и даже небольшие реактивные силы, которые возникают при сердечных сокращениях, теоретически могут нарушить неустойчивое динамическое равновесие. Но одновременно рецепторы давления на коже подошв, проприорецепторы, вестибулярный аппарат, анализирующий вектор и градиент гравитации, и органы зрения, постоянно контролируемые изменения внешней среды относительно туловища, непрерывно посылают соответствующие сигналы. Центральная нервная система (ЦНС) перерабатывает этот поток информации и в режиме реального времени управляет соответствующими мышцами, позволяя обеспечить сохранение вертикального положения тела. Это наглядный пример реализации принципа БОС. Но следует отметить, что такое биоуправление происходит без участия сознания человека, какой-либо мотивации или волевых усилий, т. е. по сути является бессознательным биоуправлением.

Биологическая обратная связь представляет собой в первую очередь биологический механизм контроля качества полученного результата. Существует отрицательная и положительная обратная связь. Когда увеличение значения одного биологического показателя вызывает уменьшение значения другого показателя, то говорят о наличии отрицательной обратной связи, т. е. зависимость между показателями обратно пропорциональная.

Если увеличение значения одного показателя приводит к росту значения другого, а это, в свою очередь, вызывает ещё большее повышение значения первого показателя, то имеет место положительная обратная связь. В таком случае зависимость между показателями прямо пропорциональная.

Функция, выражающая зависимость величины ощущения от величины раздражителя, отражает суть основного психофизического закона [2]. Имеются различные варианты этого закона: логарифмические, степенные, обобщённые законы Бэрда, Экмана, Забродина и др. Закон Фехнера (логарифмическая зависимость величины ощущения от величины стимула, выраженной в единицах порога) был выведен теоретически на основе ряда априорных постулатов. Закон Стивенса (степенная зависимость величины ощущения от величины стимула) установлен эмпирически по итогам субъективного шкалирования, но он может быть выведен и теоретически по аналогии с законом Фехнера. Как закон Стивенса (степенной),

так и закон Фехнера (логарифмический) широко используются, поскольку они хорошо описывают многие эмпирические данные. Стивенс полагал, что его закон справедлив для любых раздражителей: как для тех, которые можно измерить объективно (интенсивность звука или света, вес, температура и т. п.), так и для неизмеряемых (разборчивость почерков, серии рисунков и т. п.). Серии экспериментов по проверке закона проведены для различных (более 20) стимульных признаков. Установлено, что показатель степени менялся от 0,3 (громкость звука) до 3,5 (электрический удар). График степенной функции в логарифмическом масштабе на обеих осях координат представляет собой линию, наклон которой зависит от показателя степени.

Главный психофизический закон (о зависимости между ощущениями и раздражителями) и его дополнение, предложенное Стивенсом, можно представить в следующем виде [2]:

$$I = K(S - S_0)^n,$$

где I – ощущение;

K – коэффициент;

S – величина стимула;

S_0 – пороговое значение стимула;

n – показатель степени функции.

Организм способен реагировать лишь на достаточно сильные, «надпороговые» раздражители. Сигналы от внутренних рецепторов тела обычно существенно слабее, однако если имеется способ их усилить, то мы получим возможность чувствовать слабые сигналы о подсознательных процессах в нашем организме и даже управлять ими при необходимости.

Основными источниками получения сигналов для биологической обратной связи являются [2]:

- зрительный анализатор;
- слуховой анализатор;
- вестибулярный анализатор;
- обонятельный анализатор;
- вкусовой анализатор;
- тактильный анализатор;
- проприоцептивный анализатор, позволяющий оценивать положение тела в пространстве, а также частей тела относительно друг друга с помощью рецепторов скелетных мышц, сухожилий и суставов;
- висцеральный анализатор, воспринимающий механические и химические изменения внутренних органов;
- болевые анализаторы.

Каждый из этих анализаторов используется организмом для оценки результата совершаемого действия и коррекции самого действия.

К наиболее распространенным вариантам реализации БОС относятся:

1) БОС по электромиограмме (ЭМГ) – позволяет осуществлять функциональное биоуправление тонусом мышц-антагонистов для коррекции нарушений опорно-двигательного аппарата (восстановление после травм, лечение ДЦП);

2) БОС по реоэнцефалограмме – использует функциональное биоуправление тонусом сосудов головного мозга (купирование головных болей);

3) БОС по электроэнцефалограмме (ЭЭГ) – даёт возможность функционального биоуправления электрической активностью головного мозга (при неврозах).

История метода биологической обратной связи. Фундаментом для исследования БОС является учение И. П. Павлова об условных рефлексах и регулирующей роли коры, которое разрабатывалось в стенах Института экспериментальной медицины (Санкт-Петербург) [3].

Академик П. К. Анохин в 30-х гг. XX в. разработал теорию, объясняющую основные принципы управления в биологических системах. Одним из ключевых моментов этой теории стало понятие *обратной афферентации*, которая представляет собой связь между параметрами достигнутого полезного результата и центральными структурами нервной системы. Обратная афферентация, по Анохину, имеет в своей основе биологическую обратную связь в её современном определении. Он показал, что принципу обратной связи принадлежит решающая роль в регулировании как высших приспособительных реакций человека, так и его внутренней среды.

Конец 50-х гг. XX в. ознаменовался разработкой учениками Павлова в России и Америке нового направления в физиологии – теории инструментальных условных рефлексов. Это вызвало резкую активизацию исследований в области БОС.

Неоценимый вклад в развитие методов БОС внесли работы ряда учёных, в частности, исследования Н. В. Миллера и Л. В. ДиКары, направленные на выработку у животных висцеральных условных рефлексов оперантного типа. В том же году Дж. Камия обнаружил, что испытуемые способны изменять произвольно параметры своих электроэнцефалограмм, если они получали обратную связь с информацией о текущих величинах этих параметров. В 1980 г. М. В. Штерман доказал возможность повысить порог судорожной готовности после условно-рефлекторного усиления сенсомоторного ритма в центральной извилине коры головного мозга животных и человека.

Важнейшее достоинство метода БОС состоит в том, что в нём пациент из пассивного объекта врачебного воздействия превращается в активный субъект, который может сам влиять на своё выздоровление.

Первые работы в области БОС за рубежом были выполнены в области клинической нейрофизиологии, поэтому методика получила название нейрофидбек (НФБ). В 1958 г. Дж. Камия установил, что предоставление испытуемым звуковой информации о наличии альфа-ритма позволяло им подавлять его активность.

В 1978 г. группой Дж. Камия [3] по результатам метаанализа 45 различных исследований НФБ установлены методологические недостатки в большинстве выполненных ранее исследований и предложен новый алгоритм – минимум 4 тренировки с непрерывной БОС длительностью минимум 10 минут с предоставлением оценки достигнутого в каждом занятии результата.

Группа М. Штермана доказала высокую результативность НФБ с использованием бета-ритма (бета-НФБ). Бета-НФБ использовали для лечения эпилепсии, а также синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ).

Более глубокое понимание тонких механизмов, лежащих в основе НФБ, вызвало резкий рост интереса к данному методу в последние десятилетия. НФБ с альфа- и тета-ритмом активно используют в лечении различных зависимостей (алкогольной, наркотической и др.) и тревожных расстройств. НФБ на столь низких частотах сильно отличается от НФБ с бета- или сенсомоторным ритмом (СМР). Бета- и СМР-НФБ в настоящее время считаются наиболее физиологичными методами, которые усиливают процессы торможения в сенсомоторных зонах коры и подавляют альфа-ритм.

В 2010 г. группой Т. Росса [3] обнаружен нейропластический эффект непосредственно после НФБ. Даже 30-минутный сеанс НФБ вызывал длительные изменения в возбудимости коры головного мозга и корковой активности.

Ещё одна интересная область исследований биофидбека – это эмпирическая оценка висцеральных или гладкомышечных оперантных условных рефлексов. Было показано, что на вегетативную нервную систему можно влиять с помощью оперантных условных рефлексов. Супругами Грин был разработан клинический протокол для обучения при помощи БОС управлению температурой кожи.

Группа И. Шульца использовала температурную БОС для лечения мигрени, обучая пациентов путём повышения температуры кончиков пальцев (вазодилатация) снижать температуру кожи в области лба (вазоконстрикция). Это позволило почти 75 % испытуемых научиться снижать интенсивность и длительность приступов мигрени.

Электромиографическая тренировка (ЭМГ-БОС) используется для тренинга пациентов по релаксации мышц лба при головных болях напряжения.

Показано, что ЭМГ-БОС можно использовать в лечении нервно-мышечных расстройств. При постоянных физических упражнениях с ЭМГ-БОС функции мышц можно постепенно восстановить даже при почти полной их утрате. Например, такие упражнения используются для восстановления контроля над отдельными группами мышц при травмах спинного мозга и в иных случаях паралича. Про-

ведена разработка стандартизованных методов ЭМГ-БОС и специальных упражнений для различных мышечных групп.

По мере появления существенного количества исследований возникли различные научные сообщества в области БОС, которые в процессе развития и слияния в итоге в 2008 г. объединились в *Biofeedback Neurofeedback Alliance*. Существует также независимая организация *Biofeedback Certification International Alliance*, целями которой являются сертификация и контроль приборов и методик БОС, программ обучения и сертификации врачей, использующих БОС на практике. Созданы организации и профессиональные общества, занимающиеся проблемами БОС, например, в Чехии, Австрии, Франции, Германии. В 1996 г. был основан *Biofeedback Foundation of Europe*.

Проблемам БОС посвящены два специализированных научных журнала: *Biofeedback Magazine* и *Applied Psychophysiology and Biofeedback Journal*.

Создателями фундаментальной базы метода БОС в СССР являлись П. К. Анохин, К. М. Быков и В. Н. Черниговский. В 1955 г. М. И. Лисина опубликовала первые результаты обучения пациентов произвольно регулировать просвет кровеносных сосудов. В 1983 г. Министерство здравоохранения СССР издало приказ, разрешающий и рекомендуящий использование метода биоуправления и его аппаратного обеспечения в качестве способа лечения в детской неврологии. В России убедительно доказана высокая эффективность метода БОС при лечении ряда заболеваний (мигрень, гипертония, синдром Рейно, язвенная болезнь, алкоголизм и наркомания). Российский опыт в области биоуправления нашёл успешное применение в США, Испании, Израиле и Швейцарии.

2. Физиологические основы нейробиоуправления

Основой для создания метода БОС послужили фундаментальные исследования механизмов регуляции физиологических и развития патологических процессов, а также результаты прикладного изучения рациональных способов активации адаптивных систем мозга здорового и больного человека. В связи с этим нужно упомянуть авторов теории условных рефлексов – великих русских физиологов И. М. Сеченова и И. П. Павлова. Идейными продолжателями их исследований стали в XX в. К. М. Быков (теория кортико-висцеральных связей), П. К. Анохин (теория функциональных систем), Н. П. Бехтерева (теория устойчивых патологических состояний).

Теории функциональных систем П. К. Анохина. В психофизиологии и нейронауках все используемые разнообразные теории и подходы можно условно отнести к двум основным группам. Для первой группы основным методологическим принципом, на котором базируются подходы к изучению законов мозговой

организации поведения и деятельности, является реактивность, для второй группы – активность.

Согласно модели реактивности после действия стимула возникает реакция: у индивида – поведенческая, у нейрона – импульсная.

Активная модель предполагает, что в результате действия достигается какой-то результат и даётся его оценка, т. е. в схему добавляется модель возможного результата. Например, для индивида это может быть контакт с объектом.

В соответствии с реактивным подходом проявление активности индивидом/нейроном при отсутствии стимула невозможно. И наоборот, при использовании активной модели допустим случай, когда индивиду не поступает никакого сигнала из внешней среды, но в соответствии с ожиданиями индивида он должен был поступить. В таком случае индивид начнёт действовать и обучаться, чтобы устранить рассогласование. Такой эффект невозможен при простейшем безусловном ответе индивида/нейрона на воздействие из внешней среды.

Функциональная система – динамически складывающаяся широкая распределённая система из разнородных физиологических образований, все части которой способствуют получению определённого полезного результата [4]. Поскольку ключевое значение имеют результат и модель будущего, которая создаётся мозгом, мы имеем дело не с реакцией на стимулы из внешней среды, а с полноценным целеполаганием.

Общая структура функциональной системы приведена на рис. 1. На схеме показан алгоритм действий при реализации одной функциональной системы. Сначала происходит афферентный синтез, аккумулирующий сигналы из внешней среды, память и мотивацию субъекта.

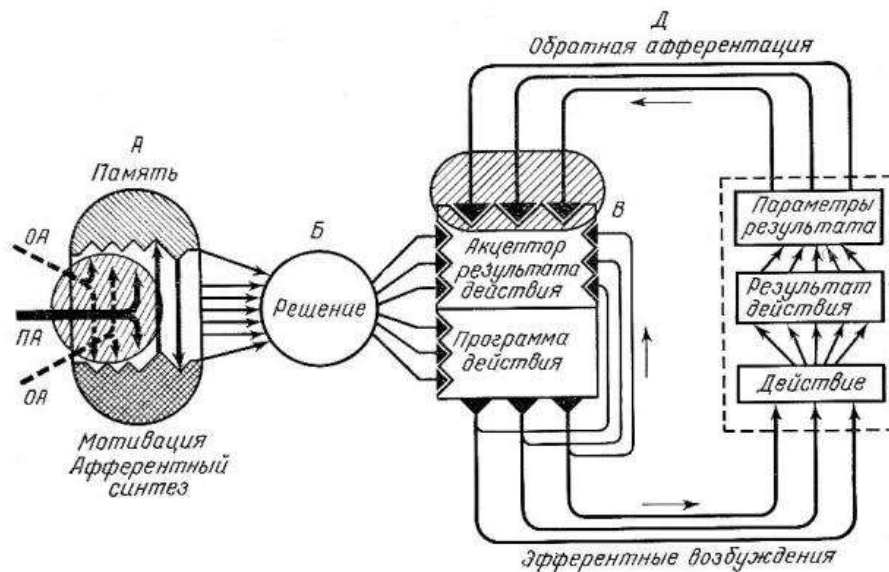


Рис. 1. Общая структура функциональной системы [4]
(ОА – обстановочная афферентация, ПА – пусковая афферентация)

По результатам афферентного синтеза принимается решение, служащее основой для формирования программы действий и акцептора результата действия – прогноза результативности совершаемого действия. После этого происходит конкретное действие и регистрируются физические параметры результата. Один из важнейших элементов данной архитектуры – это обратная афферентация, т. е. обратная связь, дающая возможность оценивать успешность совершённого действия. Именно это обеспечивает субъекту возможность обучения, поскольку сравнение физических параметров полученного и предсказанного результата даёт возможность оценить эффективность целенаправленного поведения. Важно подчеркнуть, что выбор того или иного действия определяется множеством факторов, совокупно обрабатываемых в ходе афферентного синтеза.

Подобные функциональные системы могут вырабатываться в процессе эволюции или обучения в течение жизни.

Обобщая, можно сделать вывод, что индивид и даже отдельный нейрон должны иметь способность продуцировать образ результата действия и возможность проводить оценку результативности своего поведения. Если эти условия выполняются, поведение можно уверенно характеризовать как целенаправленное. В течение жизненного цикла субъекта происходят процессы системогенеза, т. е. в ходе обучения образуются новые системы. Формирование новых функциональных систем в ходе научения основано на отборе из числа «резервных» нейронов (возможно, это малоактивные или «молчащие» клетки). Такие нейроны можно обозначить как преспециализированные клетки [5].

Отбор нейронов определяется их индивидуальными свойствами, т. е. особенностями их метаболизма. Селектированные клетки превращаются в специализированные по отношению к вновь формируемой системе, т. е. в системно-специализированные. Такая специализация нейронов относительно вновь формируемых систем неизменна. Таким образом, новая система является «добавочной» к системам, которые сформированы ранее, «наслаиваясь» на них. Данный процесс обозначают как вторичный системогенез.

Метод БОС позволяет испытуемым научиться контролировать физиологические функции, управляемые человеком бессознательно. К таким функциям при использовании метода нейробиоуправления относится прежде всего электрическая активность мозга, определяемая по электроэнцефалограмме.

Потенциалы электрического поля головного мозга человека. *Биопотенциалы* – электрическое напряжение, которое генерируется в ходе физиологических процессов, происходящих в организме. Биопотенциалы возникают в результате электрохимической активности клеток, называемых возбудимыми клетками. При воздействии внешнего стимула возбудимая клетка генерирует потенциал действия, являющийся главным источником биопотенциалов в организме.

Биоэлектрическая активность мозга – процесс, который обусловлен активностью громадного числа генераторов-нейронов. В результате этого генерируемое ими поле весьма неоднородно по всему объёму мозга и меняется во времени. По этой причине между двумя точками мозга или, например, между мозгом и удалёнными от него тканями организма возникают меняющиеся во времени разности потенциалов. Их регистрация является основной задачей электроэнцефалографии [6].

Переменный биопотенциал, который отражает электрическую активность мозга, называют электроэнцефалограммой. Для того чтобы сигнал можно было усилить и сделать пригодным для интерпретации, требуется подходящая продолжительность и длина небольших по величине (микровольты) электрических потоков биоэлектрической активности мозга.

Показано, что мозг человека находится в активном состоянии непрерывно, даже во время сна. Для каждой части мозга характерна смесь ритмической и неритмической активности, способная к изменениям, зависящим от состояния и поведения. В основе распознавания электрографических паттернов, определяющих проявления биоэлектрической активности головного мозга в норме или при патологии, лежит идентификация источников генерации и распространения электрических полей. Обычно ЭЭГ регистрируют с поверхности головы, поэтому она является отражением суммарной электрической активности, генерируемой множеством нейронов.

Происхождение биопотенциалов. К числу возбудимых типов клеток, имеющих возможность генерировать биопотенциалы, относятся:

1) афферентные (рецепторные или сенсорные) нейроны, являющиеся передатчиками сигналов от тканей и органов к ЦНС;

2) эфферентные (моторные) нейроны, передающие сигналы от ЦНС к эффекторным клеткам;

3) эффекторные клетки, в число которых входят мышечные клетки и нейроэндокринные клетки, стимулирующие физическое действие на основе полученного сигнала;

4) интернейроны, существующие только в ЦНС, включая мозг, они обеспечивают передачу сигналов между афферентными и эфферентными нейронами.

Механизм потенциала действия. Генерация электрических импульсов нейронами связана с т. н. *потенциалом действия*, который возникает при перемещении положительно заряженных ионов через мембрану нейрона, т. н. ионном токе. Он возникает в связи с тем, что в клеточной мембране имеются особые типы потенциал-зависимых ионных каналов (натриевых и калиевых). Натриевые каналы могут создавать положительную обратную связь, которая необходима для создания потенциала действия. Иными словами, мембранный потенциал может управ-

лять состоянием ионных каналов, как и состояние ионных каналов может управлять мембранным потенциалом.

После воздействия стимула наблюдается смещение мембранного потенциала. При этом открываются натриевые ионные каналы и происходит проникновение ионов Na^+ в нейрон по электрохимическому градиенту, приводящее к частичной нейтрализации отрицательного заряда на внутренней стороне мембраны – начинается деполяризация. После этого происходит активация потенциал-зависимых натриевых каналов, поток ионов натрия усиливается, приводя к нарастанию скорости деполяризации. После достижения пика натриевые каналы начинают постепенно закрываться, а калиевые ионные каналы открываются, обеспечивая выведение ионов калия из клетки и возвращение мембранного потенциала к уровню покоя (фаза реполяризации). Цикл деполяризации-реполяризации является очень быстрым (его длительность около 2 мс), вследствие чего нейроны способны запускать потенциалы действия при быстрых спайках, что является общей чертой нейронной коммуникации [2].

Синаптическая передача. *Синаптический (возникающий на уровне синапсов) потенциал* – наиболее важный источник внеклеточных потоков, являющихся причиной генерации потенциала на ЭЭГ. Синаптическая передача обеспечивает связь между нейронами, вызывая взаимосвязанное изменение биопотенциалов в различных участках головного мозга. Когда нейрон разряжается, он посылает потенциал действия через аксон к другой клетке, именуемой *постсинаптическим нейроном*. В синапсе, специализированном контакте между этими двумя нейронами, потенциал действия высвобождает медиатор. Медиатор диффундирует в синаптическую щель и связывается хемочувствительными рецепторами Na^+ -каналов на постсинаптической мембране. Это приводит к открытию каналов, позволяющему току ионов воздействовать на дендрит. Суммарный заряд дендрита равен нулю, поэтому на его постсинаптической мембране происходит компенсация ионного тока, направленного внутрь, ионным током, направленным наружу в противоположной части дендрита. Эти потоки ионов внутрь дендрита и наружу производят электрический ток малой величины.

Возбуждающие постсинаптические потенциалы (ВПСП) распространяются по направлению внутрь клетки к другим компонентам клетки с участием ионов натрия или кальция.

Тормозные постсинаптические потенциалы (ТПСП) распространяются по направлению изнутри кнаружи в противоположном направлении посредством ионов хлора или калия [2].

Эти суммированные потенциалы имеют большую продолжительность, чем потенциал действия, и являются источником появления большинства колебаний, регистрируемых на ЭЭГ. Ствол мозга и таламус выполняют роль подкорковых генераторов, синхронизирующих популяции нейронов неокортекса как в норме

(например, элементы сна), так и при патологии (например, генерализованные комплексы и «спайк-волна»).

Основной источник электрической активности на ЭЭГ – это *нейроны* коры большого мозга. *Пирамидные клетки* вносят основной вклад в возникновение синаптического потенциала, который и формирует картину ЭЭГ, отражающую постоянное и изменяющееся напряжение электрических полей, которое может варьировать при изменении локализации электродов на поверхности головы.

Электроэнцефалография – методика исследования головного мозга посредством регистрации разности электрических потенциалов, которые возникают в ходе его жизнедеятельности. Регистрирующие электроды накладываются на определённые области головы таким образом, чтобы на записи были представлены все основные отделы мозга. Получаемая запись – электроэнцефалограмма отражает суммарную электрическую активность многих миллионов нейронов, которую создают в основном потенциалы дендритов и тел нервных клеток: возбуждательные и тормозные постсинаптические потенциалы и частично – потенциалы действия тел нейронов и аксонов.

Таким образом, ЭЭГ отражает функциональную активность головного мозга. На ЭЭГ обнаруживается регулярная ритмика, свидетельствующая о том, что имеет место синхронизация нейронами своей активности. В норме эта синхронизация определяется преимущественно ритмической активностью пейсмейкеров (водителей ритма) неспецифических ядер таламуса и их таламокортикальных проекций. Уровень функциональной активности детерминируется неспецифическими срединными структурами (ретикулярной формацией ствола и переднего мозга). Именно ими и формируются ритмика, внешний вид, общая организация и динамика ЭЭГ [6].

В рутинной практике ЭЭГ отвод потенциалов проводят с помощью электродов, которые располагают на интактных покровах головы. Электроды могут иметь вид металлических пластин или стержней различной формы, у которых диаметр контактной поверхности равен 0,5–1 см. Электрические потенциалы подаются на входную коробку электроэнцефалографа, в которой имеется от 20 до 40 и более пронумерованных контактных гнезд. К ним подсоединяют соответствующее количество электродов. У современных электроэнцефалографов входная коробка помимо коммутатора электродов оснащается усилителем и аналого-цифровым преобразователем ЭЭГ. Преобразованный во входной коробке сигнал ЭЭГ подаётся в компьютер, позволяющий осуществлять управление функциями прибора, регистрацию и обработку ЭЭГ. Регистрируемые потенциалы преобразуют в цифровой формат, позволяя непрерывно отображать ЭЭГ на мониторе и параллельно записывать её на диск.

На ЭЭГ регистрируется разность потенциалов между двумя точками головы, поэтому на каждый канал электроэнцефалографа подаются напряжения, отведённые двумя электродами: одно на «вход 1», другое на «вход 2» канала усиления. При использовании многоконтактного коммутатора отведений ЭЭГ есть возможность коммутации электродов по каждому каналу в нужной комбинации.

Полосу пропускания усилителя задают с помощью аналоговых и цифровых фильтров высокой и низкой частоты, обычно она составляет при записи ЭЭГ – 0,5–70 Гц. При *референтном отведении* на «вход 1» усилителя подают потенциал от электрода, стоящего над мозгом (активного), а на «вход 2» – от электрода на удалении от мозга (референтного), например, на мочке уха. Под активным электродом генерируется переменный потенциал мозга, а под референтным электродом имеется постоянный потенциал, который не влияет на вид ЭЭГ. Такая схема позволяет получить запись колебаний электрического потенциала мозга без искажения, однако при такой схеме сложно определить локализацию интенсивного источника потенциала, расположенного асимметрично относительно электродов.

При использовании схемы *биполярного отведения* на оба входа усилителя подсоединяют электроды, стоящие над мозгом. При этом регистрируется кривая, отражающая разность потенциалов, возникающих на двух электродах. Оценить форму изменений потенциала под каждым из них невозможно. Но если использовать ЭЭГ, зарегистрированные от нескольких пар электродов в разных комбинациях, то возможно установить локализацию источников потенциалов, вносящих вклад в сложную суммарную кривую при биполярной схеме.

Наиболее перспективным среди методов, основанных на использовании биологической обратной связи по электроэнцефалограмме, является нейробиоуправление (НБУ). Принцип адаптивного биоуправления является основой современной компьютерной лечебно-оздоровительной технологии на стыке медицины, физиологии и психотерапии. Он направлен на развитие и совершенствование механизмов саморегуляции физиологических функций при различных состояниях.

В основе метода лежит предъявление пациенту биоэлектрических потенциалов его мозга с целью обучить его произвольно регулировать и контролировать их в соответствии с доминирующим ритмом психического состояния.

Данный вид БОС успешно используют для подавления тета-ритма и выработки навыков управления альфа- и бета-ритмами с целью профилактики и лечения инсульта. Ещё одной традиционной областью применения ЭЭГ-БОС является профилактика эпилептических приступов и лечение эпилепсии.

Важную социальную и медицинскую задачу выполняет применение ЭЭГ-БОС для лечения пациентов, страдающих аддиктивными расстройствами. В последние годы ЭЭГ-БОС всё шире используют при лечении старческого слабоумия. Как известно, естественное старение людей часто сопровождается постепенным

снижением интенсивности мозгового кровообращения и связанным с этим смещением спектра ЭЭГ в область низких частот.

Метод биоуправления применяют при лечении невротических тревожных нарушений. Одной из наиболее тщательно исследованных областей применения ЭЭГ-БОС является бета-стимулирующая БОС, которую используют в лечении широко распространённой патологии детского возраста – синдрома дефицита внимания и гиперактивности, связанной с нейробиологическими особенностями этого состояния.

В ходе тренинга НБУ необходимы многократная регистрация показателей ЭЭГ (курсовая динамика) и обобщение полученных данных с позиции формирования новой адекватной системы регуляции функциональной системы в организме человека.

Таким образом, метод НБУ является современным высокоэффективным способом лечения многих заболеваний, обладающим определёнными преимуществами по сравнению с существующими терапевтическими методами. Человек, который овладел осознанными навыками саморегуляции, может эффективнее осуществлять свою деятельность, поскольку он имеет возможность устранять лишнее напряжение и переживания.

3. Основные положения метода биологической обратной связи

На современном этапе развития БОС – это комплекс методов и технологий, которые базируются на механизме обратной связи. Их целями являются активизация внутренних резервов организма, обучение самоконтролю и саморегуляции ряда физиологических функций организма с помощью формирования на уровне головного мозга алгоритмов по физиологически адекватному управлению ими.

Метод БОС – особый вид обучения, направленного на произвольную регуляцию важных физиологических показателей, в частности биоэлектрических колебаний потенциалов головного мозга, частоты сердечных сокращений (ЧСС), параметров дыхания, температуры и электрического сопротивления кожи, напряжения мышц и др. Термин *biofeedback* в русскоязычной литературе представлен различными вариантами – «биоуправление», «биоуправление с обратной связью» или «метод биологической обратной связи».

Биологическая обратная связь – это группа терапевтических процедур с использованием электронных или электромеханических инструментов, направленных на оценку, обработку информации о человеке с целью усиления свойств нейромускульной и автономной деятельности, как нормальной, так и аномальной, в форме аналоговых или бинарных, слуховых и/или визуальных сигналов обратной связи. Наилучшим способом процедуры проводятся при участии консультанта-профессионала, специализирующегося по обратной биологической связи.

Цель деятельности: помочь людям осознать и научиться контролировать собственные физиологические процессы, которые происходят подсознательно. Во-первых, научиться управлять внешними сигналами, а затем научиться применять внутренние психофизиологические сигналы [7].

БОС-терапия – это один из перспективных подходов, используемых превентивной медициной, которая ставит своей целью профилактику развития болезней. К основным достоинствам метода относятся неинвазивность, нетоксичность, надёжность и эффективность. Вследствие этого БОС-методы применимы для лечения многих хронических заболеваний в клинической, а также в восстановительной и превентивной медицине. Метод БОС позволяет с учётом индивидуальных особенностей личности подбирать для каждого пациента оптимальную тренировочную нагрузку и контролировать результативность её выполнения в процессе лечения. К тому же, используя мультимедийные возможности компьютерной техники, БОС даёт возможность проводить лечебные сеансы нестандартно и при высокой эмоциональной заинтересованности как взрослых пациентов, так и детей [3].

Таким образом, методы БОС-тренинга – это процедуры обучения различным приёмам, позволяющим управлять произвольными физиологическими функциями. БОС действует посредством демонстрации на дисплее внешних сигналов, которые отражают состояние органов и систем пациента, обычно остающихся неосознанными. Наблюдая за этими сигналами, пациент обучается перенастройке внутренних параметров организма, добиваясь улучшения своего функционального состояния и закрепления этого улучшения на длительный срок.

Преимущество метода состоит в отсутствии артефактов, таких как феномен «переноса», подключение психологической защиты, которые препятствуют созданию рабочего альянса между врачом и пациентом.

Метод позволяет развеять опасения больного, что терапевт может подвергнуть его «зомбированию» и «кодированию». С помощью БОС-тренинга развиваются механизмы саморегуляции, что приводит к расширению поведенческих возможностей личности, помогает в дальнейшем преодолевать стрессовые воздействия с помощью максимально энергосохраняющих стратегий, которые исключают деструктивное и саморазрушающее поведение.

Уникальность БОС как способа терапевтического воздействия состоит в том, что пациент получает возможность контроля за функциями своего организма и ориентирован на собственные силы, а не на возможности медицинского оборудования и препаратов. Это его несомненное преимущество при сравнении со многими современными медикаментозными и немедикаментозными методами лечения. Роль врача в биоуправлении очень важна, поскольку работа с пациентом при помощи БОС-методов требует интенсивного психотерапевтического воздействия, особенно на начальных этапах лечения.

БОС-метод не является специфичным в отношении диагноза, т. е. он даёт возможность лечить не отдельные заболевания, а основные типы дисфункций регуляторных систем организма – нервной (центральной, периферической и вегетативной), иммунной и гуморальной. Поэтому БОС-метод позволяет проводить коррекцию практически любых расстройств неинфекционной и нехирургической этиологии.

Эффективность применения БОС-методов обеспечивает снижение в 1,5–2 раза медикаментозной нагрузки при ряде хронических заболеваний, например гипертонической болезни, эпилепсии, СДВГ у детей и подростков, мигрени, бронхиальной астме, а также помогает добиться в процессе лечения и реабилитационного периода полного отказа от лекарственных препаратов у более чем 60 % пациентов с диагнозом «невроз», «депрессия» и «тревожные нарушения».

БОС-терапия в составе стандартной программы восстановительного лечения и реабилитации позволяет сократить сроки выздоровления в 2–4 раза и к тому же существенно понижает число рецидивов.

Всё это подтверждает медицинскую целесообразность, а также экономическую обоснованность активного использования БОС-технологий.

Основное содержание метода БОС-терапии. Схема БОС-процедуры включает непрерывный мониторинг выбранных электрофизиологических показателей и «подкрепление» заданного интервала значений с использованием мультимедийных, игровых и иных приёмов. Иначе говоря, БОС-интерфейс для человека является своеобразным «физиологическим зеркалом», которое отражает его внутренние процессы. В ходе сеанса БОС пациент через датчики, преобразующие и регистрирующие устройства информируется о минимальных изменениях какого-либо из своих физиологических показателей (мышечного напряжения, температуры тела, электрического сопротивления кожи, уровня артериального давления и др.), связанных с эмоциональным состоянием, и пытается изменить его в заданном направлении. Таким образом он приобретает и развивает навыки направленной саморегуляции, тем самым оказывая влияние на протекание патологического процесса. В ходе выполнения курса БОС-сеансов возникает возможность усиления или ослабления того или иного физиологического показателя путём влияния на уровень тонической активации той регуляторной системы, чью активность данный показатель отражает. Важная особенность БОС – наличие зависимости между вегетативными и психическими функциями. Результативность БОС-тренинга определяется степенью мотивации, уровнем социальной адаптации, коммуникабельностью и мало зависит от возраста, течения болезни и социальных факторов.

Протокол БОС обеспечивает «возврат» пациенту видео- или аудиоинформации, отражающей текущие значения определённых физиологических показателей, выбор которых регламентируется задачами проведения БОС-процедуры.

В этом смысле все БОС-протоколы можно разделить на две большие группы или направления [8].

Первое направление – это нейробиоуправление (НБУ, *neurofeedback*), которое базируется на модификации различных параметров ЭЭГ головного мозга (амплитуды, мощности, когерентности и т. д.). Данное направление стало базисом для развития такой модификации биоуправления, как ЭЭГ-БОС, которая позволяет изменять степень концентрации внимания, обеспечивает контроль за уровнем эмоционального возбуждения. При этом метод ЭЭГ-БОС является приоритетным среди других методов, использующих БОС, поскольку он позволяет менять биоэлектрическую активность головного мозга. В результате происходят изменения мозгового кровотока и коррекция функционального состояния человека, в том числе психоэмоциональной и мотивационной сферы.

Второе направление, обозначаемое термином БОС, имеет целью изменение показателей вегетативной (симпатико-парасимпатической) активации:

- проводимости кожи;
- кардиограммы;
- частоты сердечных сокращений;
- дыхания;
- электромиограммы;
- температуры;
- фотоплетизмограммы и др.

В соответствии с современными представлениями регуляторные изменения в деятельности вегетативной нервной системы, вызванные сильным и/или хроническим стрессом, считаются одним из главных факторов, провоцирующих большую группу заболеваний: психосоматических расстройств, болезней регуляции и др.

Направление *biofeedback* стало основой синтеза ряда модификаций биоуправления, к числу которых относятся следующие [8]:

- 1) БОС по показателям функций сердечно-сосудистой системы (величина артериального давления, частота сердечных сокращений, время распространения пульсовой волны и т. д.);
- 2) БОС по температуре и кожно-гальванической реакции;
- 3) электроэнцефалографическая БОС (ЭЭГ-БОС);
- 4) БОС по респираторным показателям;
- 5) мультипараметрическая БОС;
- 6) БОС-терапия с применением стресс-нагрузок и использованием психотерапевтических техник;
- 7) БОС по показателям биоэлектрографии;
- 8) электромиографическая БОС (ЭМГ-БОС).

Области применения. ЭМГ-БОС используется в основном при лечении двигательных нарушений и для релаксационного тренинга. Состояние релаксации, обеспечивающее улучшение психического состояния, достигают путём снижения мышечной активности, причиной которой является психическая дезадаптированность. Особенно эффективным при психоэмоциональном напряжении является как биоуправление по миограмме фронтальных мышц, которые в наименьшей степени контролируются сознанием.

БОС по температуре и кожно-гальванической реакции позволяет усилить кровоснабжение различных участков тела. В ходе занятий снижают уровень психоэмоционального напряжения осуществляется с помощью наработки навыка произвольного контроля за температурой кончиков пальцев конечностей: это эффективный способ расширения сосудов конечностей, снижения артериального давления и повышения периферического сопротивления.

БОС по респираторным показателям успешно используют при лечении гипервентиляционного синдрома и бронхиальной астмы.

ЭМГ-БОС тренинг используют для изменения степени концентрации внимания, контроля уровня эмоционального возбуждения (при депрессии, аддиктивных расстройствах, синдроме дефицита внимания).

Метод БОС успешно и эффективно используется для лечения заболеваний нервной, сердечно-сосудистой и респираторной систем. Например, лечение гипертонической болезни с использованием БОС позволяет получить достоверное снижение уровня артериального давления и улучшение прогноза заболевания. Он эффективен при терапии таких функциональных нарушений, как головная боль напряжения, мигрень, нарушение сна и т. п., а также ряда психосоматических заболеваний (тревожных и депрессивных расстройств, хронического болевого синдрома и пр.).

В спортивной практике БОС используют для личностного роста и повышения спортивного мастерства. Для достижения оптимальных показателей у спортсменов, а также у военнослужащих и представителей опасных профессий, используется БОС-терапия, дополненная стресс-нагрузками и психотерапевтическими техниками.

Объектом научных исследований, давших обнадеживающие результаты, по оценке эффективности применения метода БОС при лечении стали следующие заболевания:

- желудочно-кишечные (гастриты, хронический холецистит, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, синдром раздраженной толстой кишки);
- спастические бронхолёгочные заболевания;
- синдром дефицита внимания и гиперактивности;
- болезнь Рейно;
- тиннитус;

- фантомные боли;
- алкоголизм;
- посттравматическое стрессовое расстройство;
- постинсультные нарушения;
- гипергидроз;
- блефароспазм;
- сахарный диабет 1-го и 2-го типов;
- фибромиалгия, сколиоз;
- рассеянный склероз;
- тиреотоксикоз;
- синдром хронической усталости;
- дислексия и др.

Хорошие результаты получены при лечении с применением БОС пограничных психических расстройств. БОС-тренинг при психосоматической патологии – уникальный метод, способствующий восстановлению процессов самоперцепции, тонкой дифференцировки внутренних ощущений, эмоций.

Изучение перспектив БОС-терапии при лечении психоиммунологических нарушений показало, что имеет место условно-рефлекторная иммуносупрессия (т. н. выученное снижение иммунитета), установлено существенное и длительное снижение иммунного статуса организма при воздействии хронического стресса. Релаксационная ЭЭГ-БОС-терапия оказывала восстанавливающее действие на механизмы иммунитета. Наблюдалось повышение сопротивляемости организма к действию внешних патогенов и различных аутоиммунных реакций (ревматоидный артрит, аллергии и др.).

Метод БОС-тренинга может воздействовать на бессознательном уровне. При этом наблюдается неспецифический терапевтический эффект – уменьшение эмоциональной напряженности, что чрезвычайно важно при лечении пограничных психических расстройств.

Метод биоуправления можно использовать либо как самостоятельную психотерапевтическую методику, либо как эффективный инструмент, который помогает врачу получить более выраженный и стойкий терапевтический эффект.

4. Традиционные и инновационные технологии биологической обратной связи

Суть метода БОС состоит в демонстрации испытуемому информации о текущих значениях его физиологических показателей с помощью видеоизображений на мониторе ПК или аудиосигналов. Перечень показателей регламентируется протоколом проведения БОС-процедуры. Так, в рамках направления НБУ проводят

модификацию различных характеристик ЭЭГ головного мозга (амплитуды, мощности, когерентности и т. п.). Для обозначения таких изменений основных параметров ЭЭГ используется также термин *neurotherapy*. Целью группы методов БОС является изменение ряда показателей вегетативной активации (проводимости кожи и её температуры, частоты сердечных сокращений и дыхания и др.).

Традиционные подходы к тренингу утраченных функций. Двигательные функции верхних и нижних конечностей могут нарушаться при воздействии различных факторов, но в их основе лежит повреждение ЦНС. Причиной ослабления, прекращения или неправильности движений конечностей может также являться и поражение двигательных нервов, нарушающих передачу по ним нервных импульсов. Благодаря развитию современных методов медицины появилась возможность восстанавливать функции мышц рук и ног.

Полная потеря движений или их ослабление чаще всего вызываются параличом и парезом. В таких случаях выделяют следующие типы нарушения функций мышц конечностей: тетраплегия, моноплегия, параплегия, гемиплегия.

Основными причинами нарушения деятельности ЦНС являются: инсульты; травмы головного или спинного мозга (ушибы, сотрясения, сдавление); травматические или патологические поражения нервных стволов; развитие опухолей в мозге или его оболочках; сильные отравления организма; инфекции, вызывающие поражение нервных клеток; нарушения метаболизма; сильные и частые стрессы.

Независимо от степени нарушения двигательной активности добиться полного восстановления движения верхних конечностей значительно сложнее, чем нижних, поскольку для рук очень важна мелкая моторика.

К числу основных традиционных методов реабилитации относятся электростимуляция, лечебно-профилактическая физкультура и метод А. Баниэль (т. н. АБМ-терапия) [9].

При выборе метода реабилитации специалист принимает во внимание индивидуальные особенности заболевания пациента (степень тяжести перенесённой болезни, общее физическое и психическое состояние пациента и его эмоциональный настрой на реабилитацию).

Однако есть группа методов, которые используются для всех без исключения пациентов:

- лечебная физкультура (ЛФК), или кинезиотерапия, и массаж;
- упражнения по восстановлению памяти и речи;
- психологическая стимуляция;
- профилактические меры для предупреждения рецидивов болезни и осложнений.

Основными задачами ЛФК (кинезиотерапии) является восстановление физической силы мышц конечностей, а в идеале – восстановление всех прежде со-

вершаемых движений, способности пациента самостоятельно передвигаться и выполнять тривиальные бытовые действия.

При выполнении упражнений по восстановлению функций конечностей руководствуются следующими простыми правилами.

Для активизации поражённых участков головного мозга и вовлечения в работу резервных нервных клеток всякое упражнение начинают со здоровых конечностей. При пассивной гимнастике пациенту необходимо пытаться выполнять упражнения обездвиженной рукой таким образом, как если бы он делал это самостоятельно.

Максимальная концентрация внимания достигается при закрытых глазах.

Пациенту с поражением участков мозга сконцентрироваться довольно сложно, но необходимо постоянное усложнение упражнения или хотя бы его замена на другие, сходные по сложности.

Конечная цель реабилитации – выполнять самостоятельно бытовые действия, поэтому необходимо помочь мозгу пациента вспомнить алгоритм их выполнения. При этом надо осуществлять постепенный переход от простых упражнений к более сложным.

С помощью ЛФК пациент постепенно обучается стандартным бытовым действиям и приобретает способность к самообслуживанию. По мере выполнения упражнений ЛФК с помощью мускульной силы инструктора у пациента сначала восстанавливается кровоток в мышцах, разрабатываются суставы и в итоге постепенно возникает способность двигаться самостоятельно.

Метод электростимуляции. Электростимуляция – это воздействие импульсами электрического тока низкой частоты на ткани пациента для стимуляции двигательной активности в парализованных мышцах. В результате воздействия увеличивается скорость кровотока в мышцах, повышается их сократимость, растёт эффективность обменно-трофических процессов.

Обычно для электростимуляции используют накожное расположение электродов, поэтому раздражения и разрушения тканей не происходит. У пациента отсутствуют негативные ощущения. Электростимуляция – это дополнительное, но не альтернативное ЛФК средство восстановления двигательных функций конечностей.

Метод А. Баниэль считается одним из самых быстрых и эффективных способов реабилитации [9]. В момент получения травмы нервными импульсами мозгу передаётся информация о повреждении определённого участка тела и организм начинает ощущать боль. Стараясь ликвидировать болевые ощущения и обезопасить ткани, органы и системы организма от дальнейших повреждений и негативных последствий, мозг проводит «отключение» повреждённого участка тела путём блокировки нервных импульсов от него. Таким образом обеспечиваются потеря чувствительности места травмы и его минимальная подвижность. При тяжёлых

травмах и последующем длительном лечении мозг как бы «забывает» о повреждённых участках тела, поэтому основная задача АБМ-терапии – помочь мозгу «вспомнить» о повреждённом участке тела, доказать, что он здоров и готов к использованию, и таким образом восстановить его подвижность.

Метод биологической обратной связи. В БОС-методе пациента подключают к датчикам, которые позволяют отображать сокращения мышц в виде графиков на дисплее. Наблюдая за ними, пациент вначале учится контролировать парализованные мышцы, а затем уже и управлять ими.

Область применения метода БОС по электромиограмме достаточно обширна и включает в том числе релаксационный тренинг и терапию двигательных нарушений, а также лечение диссоциативных расстройств моторики, нарушений сна, синдрома хронической усталости [10].

БОС-тренинг при лечении больных с двигательными нарушениями после спинальной травмы. Повреждения спинного мозга традиционно относят к расстройствам с пессимистическим прогнозом с тенденцией к ухудшению со временем.

Но в 70-х гг. XX в. появились сообщения об успешном использовании методов БОС при спинальной травме. В частности, наблюдался хороший клинический эффект у больных с повреждением шейного отдела позвоночника и спинного мозга. Исследования более 100 пациентов с квадриплегией показали, что эффективность метода БОС при лечении больных со спинальной травмой не зависела от длительности посттравматического периода, начальных функций и напряжения мышц или начального волевого контроля ЭМГ-ответа. Многие пациенты, у которых первоначально ЭМГ-ответ отсутствовал, смогли существенно увеличить его (на 20–40 %) с помощью БОС-тренинга.

Это позволило утверждать, что ЭМГ-БОС-тренинг является весьма перспективным при реабилитации больных с последствиями спинальной травмы.

БОС-тренинг у пациентов с последствиями инсульта. Это ещё одно перспективное направление использования БОС для реабилитации пациентов, перенёвших инсульт. Двигательные нарушения после инсульта в значительной мере обусловлены расстройствами психофизиологических механизмов управления движениями.

Для лечения двигательных нарушений наиболее широко применяют ЭМГ-БОС. Основная цель обучения по электромиограмме пациентов с постинсультными гемипарезами – повысить произвольную мышечную активность в паретичных группах мышц, а также улучшить произвольный контроль патологических содружественных движений (координаторных синкинезий). По итогам тренинга у подавляющего числа больных наблюдаются рост среднего показателя объёма активных движений и заметное уменьшение степени пареза. Кроме того,

возрастает амплитуда электроактивности произвольного сокращения в паретичных мышцах.

Высокая результативность ЭМГ-БОС показана при лечении гиперкинетического синдрома. У пациентов с постинсультными гемипарезами часто регистрируют асимметрию вертикальной позы, при которой центр тяжести тела смещается в сторону здоровой ноги. Для устранения этого недостатка, повышающего риск падения, стали использовать оригинальный баланс-биотренинг. Суть метода состоит в применении стабилографического комплекса, непрерывно отслеживающего координаты проекции центра тела по реакциям трёх опор и отображающего стабилограмму на экране компьютера.

Результаты исследований на большом количестве больных доказали эффективность баланс-терапии при тренировке функции равновесия у пациентов с постинсультными гемипарезами.

ЭМГ-БОС-тренинг показал хорошие результаты при лечении головной боли напряжения. Мышечная активность может меняться в широких пределах, но человек осознаёт только то мышечное напряжение, которое связано с движением. В то же время высокий тонус мышц, обусловленный психоэмоциональным напряжением, часто остаётся ниже порога восприятия.

Если пациенту предоставить информацию об электрической активности мышечных волокон, он может наглядно оценить степень его психической дезадаптированности. Такая информация позволяет пациенту путём снижения мышечной активности перейти в состояние релаксации, при котором одновременно снижаются сопровождающие стресс высокие показатели частоты сердечных сокращений, артериального давления, ритма дыхания. В итоге наблюдается улучшение психического состояния.

Наиболее эффективным ЭМГ-БОС-тренингом при психоэмоциональном напряжении является биоуправление по миограмме фронтальных мышц, наименее подверженных контролю сознанием. Доказано, что боль не всегда возникает в момент напряжения мышц и проходит после их расслабления, эта взаимосвязь может быть более сложной и длительной. Однако даже при незначительном мышечном напряжении, не выходящем за рамки обычных колебаний, может провоцироваться высвобождение биологически активных веществ, вызывающих усиление головной боли. Определённый вклад могут вносить и близлежащие крупные мышцы, например, трапецевидная. Установлено, что среди всех лиц, страдающих головной болью напряжения, имеется подгруппа пациентов, у которых возникновение головной боли предваряется напряжением мышц.

Сочетание температурного и миографического биоуправления с психотерапевтическими методами при лечении головной боли напряжения и мигрени значительно повышает эффективность воздействия.

Для функционального биоуправления по ЭМГ пациенту на конечность с нарушенной двигательной функцией накладываются три электрода:

- активный (на группу мышц со сниженной функцией);
- пассивный (в области мышцы-антагониста);
- заземление (на противоположную конечность или часть тела).

Правильность выполнения упражнения ЛФК пациент может отслеживать при помощи обратной связи по двум каналам.

Первый канал – зрительный: пациент видит на экране монитора нормальную электромиограмму своей работающей мышцы. Вторым каналом – аудиосигнал в виде музыки, подтверждающей правильность выполнения упражнения. При выходе тонуса работающей мышцы за допустимые границы, которые предварительно определяют в состоянии покоя, меняется цвет электромиограммы и прекращается музыка.

Увеличение количества применяемых каналов обратной связи приводит к пропорциональному росту эффективности функционального биоуправления. Кроме того, на результативность лечения большое влияние оказывает активное участие пациента, поскольку он должен правильно выполнять упражнения и сразу корректировать свои действия при появлении ошибок.

Технология дистанционного нейробиоуправления. Для увеличения доступности и эффективности реабилитационного процесса необходимо обеспечить постоянный врачебный контроль путём приближения к пациенту инструментария восстановительной неврологии и встраивания его в современную информационную сеть.

Специалистами НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН, ООО «Компьютерные системы биоуправления» и Сибирского клинического центра разработан проект «Дистанционная (сетевая) нейрореабилитация». Суть его состоит в максимальном приближении аппаратуры БОС к пациенту и встраивании в информационную сеть [8].

Например, при реабилитации пациентов после инсульта и тяжёлых мозговых травм используют домашний комплекс биоуправления «БОСЛАБ-Миография». В него входят модуль «БИ-02М» (2 ЭМГ, 1 Темп, 1 КГР) и датчик дыхания, компьютерный тренажёр «БОС-Пульс» и персональный компьютер, подключённый к сети Интернет. С помощью комплекса обеспечивается проведение как диагностики, так и тренинга выбранной группы мышц по интенсивности сокращения/напряжения. При проведении занятий также обеспечивается обратная связь в игровой мультимедийной форме с использованием графических и аудиосигналов, слайдов для повышения мотивации пациента к занятиям, к прохождению серии усложняющихся виртуальных испытаний путём напряжения или расслабления определённых групп мышц. Победный результат достигается при условии получения выбранными группами мышц нагрузки в нужном объёме. Таким

образом пациент приобретает навык управления своими мышечными усилиями, т. е. проходит курс моторного переобучения. Процесс восстановления мышечной функции постоянно отображается на экране компьютера, позволяя пациенту наблюдать результаты своего тренинга в режиме реального времени.

Лечащий врач-реабилитолог контролирует весь процесс дистанционно, поскольку данные о контролируемых физиологических параметрах с помощью специальной программы «БОСЛАБ-Пациент» передаются на сервер (boslab.net) в виде графиков и диаграмм после каждого занятия. Основываясь на полученных данных, врач может скорректировать нагрузку. Кроме того, пациент имеет возможность прямого общения с врачом и непосредственно во время занятия с помощью Skype. Для соблюдения режима конфиденциальности врач и пациент получают специальные карты для входа в систему. Благодаря подобному формату один врач-реабилитолог может вести до 15 «виртуальных» пациентов одновременно.

Для участия в программе сетевой нейрореабилитации проводят отбор пациентов, предпочтительно имеющих минимум сопутствующих заболеваний. Проводят также оценку динамики ЭМГ-параметров и скорости овладения новыми навыками в ходе лечения в стационаре. В соответствии с характером поражения определяют цель тренинга и подбирают программу двигательной реабилитации. Вначале пациент проводит тренировки в клинике на стационарном БОС-комплексе под наблюдением лечащего врача. При выписке пациенту проводят подробный инструктаж и выдают тренажер «БИ-02М». Дома пациент устанавливает специализированную программу «БОСЛАБ-Пациент» на свой компьютер и продолжает тренировки. Курс реабилитации занимает до нескольких месяцев. Тренировки проводятся по графику (ежедневно или через день), который устанавливает врач с учётом тяжести заболевания.

Рассмотрим применение инновационных технологий биологической обратной связи в различных отраслях.

Медицина. В рамках доказательной медицины Ассоциацией прикладной психофизиологии и биологической обратной связи опубликован перечень заболеваний, при которых проводились исследования эффективности методик БОС. В полном объёме выполнены исследования для лечения недержания мочи.

Для тревожных расстройств, синдрома дефицита внимания и гиперактивности, головной боли и гипертонической болезни доказана эффективность использования БОС в серии исследований на группах людей либо при помощи рандомизированного плацебо-контролируемого исследования. Продолжается уточнение данных для более 30 патологий.

Спорт. Использование БОС в спорте направлено на повышение возможностей человеческого организма без применения допинга. С помощью БОС-методов оптимизируют нагрузки и обеспечивают максимальную производительность скелетной мускулатуры в определённые сроки, обучают правильно расслабляться и

восстанавливаться после нагрузок. В лёгкой атлетике используют методы оптимизации параметров дыхания на основе мониторинга концентраций кислорода, углекислого газа, глюкозы и молочной кислоты в крови.

Творчество. Разработан комплекс ALBERT (Acoustic and Laryngeal Biofeedback Enhancement in Real Time) с визуальной обратной связью для анализа и улучшения вокальных данных.

Автоматизированный диджей использует для выбора оптимальной музыки обратную связь с танцующими, отслеживая с помощью датчика-браслета положение танцующих в пространстве, скорость движения, ЧСС и электрокожное сопротивление.

Наука. БОС используют для изучения механизмов работы мозга путём анализа его реакции на различные сигналы/стимулы. Например, изучалась взаимосвязь самочувствия человека с преобладающим диапазоном мозговой активности. Преобладание тета-ритма (4–8 Гц) вызывало сонливость, размытость восприятия мира. Доминирование альфа-активности (8–13 Гц) ассоциировалось с расслабленностью, умиротворённостью. Усиление бета-2-ритма (18–30 Гц) соответствовало энергичному, возбуждённому, тревожному состоянию. Гамма-ритм (более 40 Гц) означал деловое, исследовательское состояние.

Интерфейс «Человек – Компьютер». Нейрофизиологи активно работают над возможностями управления с помощью прямого декодирования сигналов мозга в машинные команды. Разработаны алгоритмы анализа ЭЭГ, которые позволяют с вероятностью 90 % распознавать нужный объект на экране монитора и перемещать к нему курсор. На симпозиуме «Современные технологии биоуправления в биологии и медицине» (Москва, 2006 г.) продемонстрировалась возможность управления по радиоканалу моделью автомобиля с использованием детектирования нескольких компонентов электроэнцефалограммы.

5. Методы нейробиоуправления

Эффективность психофизиологических тренингов с БОС при различных особенностях личности. *Саморегуляция* – способ управления своим психоэмоциональным состоянием, при котором человек воздействует на самого себя, используя слова, мысленные образы, управление мышечным тонусом и дыханием [11].

Саморегуляция может приводить к появлению трёх основных эффектов:

- 1) успокоение (устраняется эмоциональная напряжённость);
- 2) восстановление (ослабляются проявления утомления);
- 3) активизация (повышается психофизиологическая реактивность).

Невозможность использования естественных способов регуляции организма (длительного сна, еды, общения с природой и животными, музыки, массажа и др.) в рабочих условиях, особенно в напряжённых ситуациях или при сильном утомлении, повышает интерес к иным способам саморегуляции. К числу последних относятся БОС-методы.

БОС-процедура обеспечивает непрерывный мониторинг определённых физиологических показателей и сознательное управление ими с помощью различных приёмов (мультимедийных, игровых и др.). БОС-интерфейс выполняет для человека роль «физиологического зеркала», отражающего его внутренние процессы. В результате курса БОС-процедур появляется возможность усиления или ослабления определённого физиологического показателя.

Внимание является одной из основных высших психических функций, которые влияют на деятельность человека. Известно, что внимание во многом обусловлено физиологическими факторами и, таким образом, зависит от состояния человека. Овладев навыками саморегуляции состояния, можно добиться улучшения внимания и повышения продуктивности в различных видах деятельности.

В наше время быстрый научно-технический прогресс и рост потребностей общества делают актуальными методы повышения параметров внимания. Метод БОС считается весьма эффективным для этих целей, особенно БОС-альфа-тренинг. Он направлен на повышение мощности альфа-ритма, что позволяет тренировать некоторые когнитивные функции. Представляют интерес результаты работы Е. Н. Петровой с коллегами, в которой исследовалось влияние индивидуально-личностных свойств темперамента на эффект улучшения зрительного внимания при использовании БОС-альфа-тренинга.

Дисперсионный анализ показал, что БОС-альфа-тренинг положительно влияет на данные параметра скорости для всех испытуемых (за исключением флегматиков), а также на уменьшение количества ошибок при обнаружении стимула в задаче на зрительный поиск для сангвиников и холериков.

Установлено, что сангвиники, холерики и флегматики, имеющие высокие показатели по силе возбуждения, быстрее включались в работу, имели большую производительность. Однако при решении задачи на избирательность это мешало испытуемым вычленять слова из текста.

У сангвиников и холериков подвижность нервной системы выше, переключение процессов от торможения к возбуждению и наоборот протекает легче. Вследствие этого они допускают меньше ошибок, решая задачи на зрительный поиск, и быстрее обнаруживают нужный стимул среди нерелевантных стимулов.

Холерики и меланхолики с более высоким параметром нейротизма (*EPI*) обладают более устойчивым параметром точности внимания, чем флегматики и сангвиники.

Таким образом, успешность тренировки зрительного внимания при помощи БОС-альфа-тренинга различается в зависимости от типа темперамента. Наиболее успешные результаты при прохождении тренинга продемонстрировали испытуемые сангвиники и холерики. Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что при использовании БОС-альфа-тренинга в качестве средства улучшения внимания необходимо учитывать темперамент.

Универсальный психодиагностический комплекс УПДК-МК (автомобильный вариант) позволяет проводить комплексное тестирование водителей различных категорий и кандидатов в водительские профессии, чтобы оценить уровень их профессионально важных качеств и получить дополнительную информацию о психофизиологических показателях и личностных особенностях обследуемых. Комплекс даёт возможность выполнять следующие процедуры: регистрация, тестирование, автоматическая интерпретация психофизиологических показателей и психологических характеристик обследуемых [12].

Комплекс обеспечивает проведение процедуры тестирования и автоматический анализ психофизиологических и психологических показателей обследуемых водителей по следующим тестам:

– тесты по оценке профессионально важных качеств (ПВК): уровень восприятия скорости и расстояния (УВСП), склонность к риску (СР), распределение внимания (РВ), эмоциональная устойчивость (ЭУ), сложная зрительно-моторная реакция – (СЗМР-М), бдительность (Б), концентрация внимания (КВ), готовность к экстренным действиям – (ГЭД-М);

– психофизиологические тесты: оценка глазомера (ОГ), моторная согласованность (МС), переключение внимания и помехоустойчивость (ПВ-ПУ), критическая частота слияния световых мельканий (КЧССМ), теппинг-тест, тремор;

– личностные тесты: Кеттелла, Лири, Люшера, Спилбергера.

Если результаты тестирования ПВК ниже нормы, то по каждому пройденному тесту делаются соответствующие выводы: «склонен неверно оценивать скорость и дистанцию во время движения»; «склонен превышать скоростной режим движения и переоценивать собственные возможности»; «не замечает дорожные знаки и имеет трудности при наблюдении дорожной обстановки в зеркалах заднего вида»; «склонен проявлять чрезмерные эмоциональные реакции, например: вести себя грубо и вызывающе, теряться в несложных дорожных ситуациях»; «склонен к запаздыванию при маневрах и несвоевременной реакции на сигналы светофора и дорожные знаки». После выявления уязвимых мест ПВК существует возможность их корректировки путём проведения соответствующего тренинга.

Одним из важных ПВК является способность правильной оценки скорости движения и расстояния до объектов в быстро меняющейся дорожной ситуации. Восприятие пространства (форма, величина, объём предмета и расстояние между предметами) опосредовано зрительными ощущениями, которые связаны с мышеч-

но-двигательными и осязательными представлениями, сохранившимися благодаря прошлому опыту. Для водителя наиболее важным является восприятие удалённости от него предметов – глубинное зрение.

Правильное восприятие пространства зависит от опыта водителя. Так, например, начинающие водители часто из-за неправильной оценки ширины дороги необоснованно снижают скорость или даже останавливают автомобиль, подают ненужные звуковые сигналы. Лишь с опытом у них вырабатывается способность правильно оценивать расстояния.

Большинство ДТП водитель может предотвратить, если не будет переоценивать свои зрительные способности и начнёт использовать их наиболее рациональным способом. Зрение человека устроено так, что не обеспечивает восприятие всей обстановки с одного взгляда. Для осмысления дорожно-транспортной обстановки надо сконцентрировать своё внимание на тех элементах, которые наиболее важны с точки зрения безопасности управления автомобилем. К ним относятся дорожные знаки, сигналы светофора и регулировщика, дорожная разметка, дорожные условия, поведение и состояние других участников дорожного движения.

При правильном наблюдении водитель концентрирует внимание в области центра пути движения своего автомобиля, рационально чередует быстрые осмотры дорожно-транспортной обстановки и более длительное рассматривание наиболее важных объектов, постоянно контролирует обстановку сзади и сбоку автомобиля.

Результаты теста по оценке склонности к риску позволяют прогнозировать вероятность рискованного поведения водителя во время дорожного движения. Риск представляет собой осознаваемую человеком возможную опасность. При высокой готовности к риску обычно наблюдается низкая мотивация к избеганию неудач и растёт число допущенных ошибок. Обычно с возрастом готовность к риску падает, более опытные водители имеют готовность к риску ниже, чем неопытные. Риском можно управлять, т. е. использовать различные меры, позволяющие в определённой степени прогнозировать наступление рискованного события и принимать меры к снижению степени риска.

При исследовании уровня распределения внимания проводят тест по оценке уровня РВ обследуемого при одновременном выполнении двух действий. Тест позволяет прогнозировать и оценивать способность водителя одновременно осуществлять контроль и при необходимости быстро и точно выполнять наиболее важные действия при ведении автомобиля, не теряя при этом контроль над другими значимыми аспектами дорожной ситуации (манипулирование органами управления, оценка дорожной ситуации, общение с пассажирами и т. д.).

Исследование эмоциональной устойчивости состоит из проведения теста точностных характеристик ЭУ, в котором оценивается способность обследуемого

выполнять свои функции, когда имеются помехи и отрицательные эмоциональные факторы.

Метод диагностики и тренинга поддержания равновесия тела (балансировка). Зарубежные и отечественные методики компьютерной стабиллографии, разрабатывая программно-методическое обеспечение, делают акцент на оценке нарушений опорно-двигательного аппарата человека и реабилитации этих нарушений, тренировке устойчивости человека, что позволяет снизить вероятность падения и перелома тазобедренного сустава у пожилых людей.

Анализ используемых комплексов программно-методического обеспечения стабиллоанализаторов показал, что для каждой области применения можно все задачи и методики поделить на следующие группы: оценка, исследования, диагностика, лечение и реабилитация [13].

Группа ОЦЕНКА включает ряд методик, относящихся по области применения к медицине, спорту, профотбору и экспертизе.

В медицине эти методики позволяют оценивать динамику санаторно-курортного лечения, динамику лечения и реабилитации детей с ДЦП, подвижность и восстановление при заболеваниях позвоночника, нарушения опорно-двигательного аппарата, стато-кинестическую функцию головного мозга для выявления начальной стадии опухоли головного мозга, состояние здоровья учащихся учебных заведений с целью выявить отклонения и принять своевременные оздоровительные меры.

В спорте методики позволяют определить статодинамическую устойчивость во время тренировок или специального тренинга по развитию функций равновесия, оценить психофизиологическое и функциональное состояние спортсменов, их профессиональную подготовленность, проприорецептивную память и внешнее силовое импульсное воздействие.

На производстве с помощью данных методов можно оценить профессионально важные психофизиологические качества водителей транспортных средств, психофизиологическое состояние человека в ходе предрейсового и предполётного контроля, предсменную готовность лиц особо ответственных профессий (бойцов ОМОНа и МЧС, авиадиспетчеров, операторов АЭС), их физическую выносливость, проводить экспертизу трудоспособности, профориентацию, профотбор и профпригодность (спорт, промышленность, военное дело).

В группе ИССЛЕДОВАНИЕ методики используют для фундаментальных исследований биомеханики движений человека, в том числе по поддержанию вертикальной позы, в психологических исследованиях по определению психотипа, по анализу латеральной асимметрии мозга испытуемого; для поиска дополнительных критериев адекватности анестезии, для психофизиологического обеспечения оценки состояния персонала транспортных и энергетических предприятий, для

разработки новых методов оперативного контроля функционального состояния спортсменов.

Методы из группы ДИАГНОСТИКА охватывают нарушения двигательных функций и функции равновесия, диагностику детей с ДЦП, экспресс-диагностику состояния наркотического опьянения.

К группе ЛЕЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ относятся методы, обеспечивающие реабилитацию пациентов при комплексном реабилитационном лечении, при нарушении двигательных функций и функции равновесия, при нарушениях опорно-двигательного аппарата, при ДЦП, при церебральном инсульте, при постинсультных гемипарезах, при речевых расстройствах, при болезни Меньера, при вестибулярных нарушениях, сочетанных с острой или подострой нейросенсорной тугоухостью.

Данные методы также позволяют проводить различные виды коррекции, включая совершенствование и коррекцию речи, коррекцию двигательных функций пациентов с нарушенным речевым развитием, подбор корректирующих стекол, протезов и вспомогательных средств опоры в ортопедии, тренировку пациентов, имеющих различные повреждения опорно-двигательного аппарата и нервной системы, их статокинетической устойчивости и координации, снижение вероятности падения и переломов в тазобедренных суставах у пожилых людей.

Устройство «Балансир» является одним из наиболее известных технических средств, позволяющих проводить диагностику, тренинг и реабилитацию нарушений координации движений и поддержания равновесия с помощью биологической обратной связи по опорной реакции.

Контроль психофизического состояния проводят, оценивая функцию равновесия и способность корректно управлять позой тела, удерживая метку в течение заданного времени в центре. При контроле психофизического состояния происходит оценка функции реакции и способности испытуемого корректно управлять позой тела путём установки и удержания метки в указанном месте на протяжении заданного отрезка времени. Контроль психофизического состояния по результатам оценки функции воспроизведения основан на способности позой тела корректно перемещать метку по заданной траектории, повторяя и набирая заданное количество циклов.

Метод диагностики и тренинга навыков координации движений с помощью стабилотренинговой платформы СТ-150. Программно-аппаратный стабилотметрический комплекс «Стабилотренажёр Д-01» разработан в ОИМ НАН Беларуси и изготовлен в ОАО «Брестский радиотехнический завод».

Компьютерная стабилметрия – метод регистрации положения и колебаний проекции общего центра тяжести на плоскость опоры посредством специального устройства – стабилотметрической платформы (стабилметра) с применением компьютерных технологий регистрации, обработки и сохранения полученных данных.

Стабилометрический тренажёр – особое электронное устройство, предназначенное для совершенствования или восстановления утраченных вследствие болезни, травмы, гиподинамии или других причин двигательных навыков, координации движений и способности к концентрации [14].

Напольная платформа стабилотренажёра регистрирует усилия, направленные на поддержание и изменение позы стоящего на ней человека, и через соединительный кабель передаёт сигнал в подключённый компьютер. Специальная компьютерная программа анализирует сигнал во время проведения теста и формирует соответствующие оценки или преобразовывает сигнал в команды, управляющие виртуальным объектом (меткой) в процессе тренинга.

Данный комплекс основан на использовании стабилометрической платформы балансирующего типа с биологической обратной связью по отклонению опорной поверхности от горизонтального положения, характеризуется наличием ряда устойчивых положений и позволяет оценивать и тренировать способность человека воспроизводить движениями центра тяжести тела заданные траектории.

Метод биологической обратной связи (или иначе метод функционального биоуправления), возможности которого в последнее время существенно расширились благодаря интенсивному развитию компьютерных технологий, является методом, направленным на активацию естественных функциональных резервов человеческого организма (в первую очередь головного мозга, который, как известно, обладает морфологической и функциональной избыточностью).

Среди органов чувств необходимо особенно выделить проприорецептивную и зрительную системы, которые физиологически несут основную нагрузку; имеет значение также и вестибулярный аппарат; в определённых случаях в регуляцию процесса баланса тела подключаются другие органы и системы.

Тестирование процесса баланса тела в основной стойке может дать информацию о функциональном состоянии значительной части опорно-двигательной и сенсорной системы в силу следующих факторов: в используемом двигательном тесте основная стойка включает действие многих систем организма (опорно-двигательной, нервной, вестибулярной, зрительной, проприорецептивной и др.); получаемые параметры очень чувствительны и обладают как диагностической, так и прогностической ценностью.

Основные результаты тренинга с использованием стабилометрического тренажёра:

- снижение риска случайных падений (потери равновесия) за счёт совершенствования баланса тела;
- повышение или восстановление чувствительности ступней и мышц ног (развитие проприоцептивной чувствительности);
- совершенствование или восстановление координации движений, быстроты реакции и физической ловкости;

–совершенствование или восстановление способности к концентрации внимания за счёт целенаправленного сочетания физической и психической активности (двигательно-когнитивные тренировки);

– совершенствование параметров функции равновесия способствует повышению такого профессионально важного качества водителя, как уровень восприятия скорости и расстояния, т. е. уровень восприятия скорости движения и расстояния до объектов в быстро меняющейся дорожной ситуации.

6. Нейробиоуправление в медицине и неврологии

Возможность качественно и количественно учесть изменения физиологических функций и, следовательно, качественно оценить собственную деятельность, направленную на изменение этих функций, делает биологическую обратную связь уникальным методом саморегуляции, напоминающим йогу или цигун, но ориентированным на западного (в широком смысле этого слова) потребителя.

Области применения ЭЭГ-БОС:

- 1) нейрофидбек по медленным корковым потенциалам для лечения судорожных расстройств и для улучшения оперативных функций интеллекта;
- 2) альфа-тета-тренинг в лечении аддиктивных расстройств;
- 3) бета-тренинг в педиатрической практике.

Электрэнцефалографическая обратная связь по медленным корковым потенциалам (МКП). К медленным корковым потенциалам относят ЭЭГ-волны низкой частоты, минимальный период которых равен 200–300 мс. Область их возникновения – верхние слои коры головного мозга. МКП часто классифицируют как отклонение базового уровня ЭЭГ, являющегося основой для отслеживания остальных ритмов ЭЭГ – альфа, тета и бета. Однако исследовательской группой Н. Бирбаумера в Тюбингенском университете (Германия) показано, что наличие отрицательных сдвигов такой частоты с глубоким функциональным значением нельзя отнести к артефактам, часто встречающимся в этом диапазоне. Эта наиболее авторитетная в Европе группа психофизиологов считается лидером в исследованиях функциональных эффектов оперантного контроля за МКП [15].

Представляют интерес исследования Т. Элберта, в которых пациентов информировали о своих МКП визуально. На протяжении интервалов времени, равных 6 с, пациенты пытались осуществлять контроль за своей биоэлектрической активностью в субдельта-диапазоне, наблюдая за тем, как двигались на экране две ракеты, из которых траектория первой соответствовала отрицательным сдвигам, а второй – положительным. По окончании каждого периода в 6 с пациентам давались призовые баллы, или начислялись очки, за которые можно было получить определённую сумму денег. Использовался специальный алгоритм, позволявший в режиме онлайн компенсировать движения глазных яблок, обеспечивая устранение

артефактов изолинии. Важнейшим итогом является то, что обе группы демонстрировали корреляцию между отрицательными сдвигами МКП и снижением времени реакции на сигнал, а также улучшением краткосрочной памяти. Положительные сдвиги приводили к ослаблению когнитивных и моторных функций. Поведенческие эффекты саморегуляции МКП соответствовали представлениям нейрофизиологов о генерации негативными эпизодами на ЭЭГ длительностью более 300 мс возбуждения (деполяризации) апикальных дендритов.

Э. Спекман и К. Элгер установили, что возникновение судорожной активности на ЭЭГ предваряется появлением негативной волны МКП. Группа Т. Элберта разработала процедуру тренинга, благодаря которой пациенты могли контролировать свои МКП. Н. Бирбаумер показал возможность волевого контроля за состоянием МКП, позволявшего добиться уменьшения частоты судорожных припадков и снижения их интенсивности.

В зависимости от выполняемых моторных, сенсорных или когнитивных функций имеются топографические различия в МКП. Вследствие этого существуют возможности для регионального контроля за МКП. В ряде работ была показана способность здоровых субъектов вызывать изменения амплитуды МКП в определённых проекционных областях.

Лечение судорожных расстройств [16]. Для лечения судорожных расстройств используют *SMR*-тренинг и альфа-тренинг на двух частотных диапазонах ЭЭГ. Обычно применяют частоты 12–16 Гц или 12–14 Гц, которые являются аналогом *SMR*-активности у животных. Процедуры с использованием частот 8–13 Гц (альфа-ритм) применяются реже. Явление *SMR*-активности было впервые описано в работах группы Б. Стермана. Эксперименты на кошках показали, что животные могут легко обучаться изменению своей биоэлектрической активности в данном диапазоне и при увеличении *SMR*-активности у них происходит рост толерантности к химическим соединениям, которые вызывают судороги. Первая работа с описанием клинического применения *SMR*-тренинга с визуальным каналом обратной связи для лечения 23-летней пациентки, которая страдала эпилепсией, опубликована в 1972 г. Высокая эффективность *SMR*-тренинга при лечении судорожных расстройств подтверждена в работах В. Финли с соавторами. Проводилась длительная терапия методом *SMR*-тренинга 13-летнего подростка с частыми судорожными припадками, устойчивыми к медикаментозному лечению. Использовалось сочетанное воздействие *SMR*-стимулирующего тренинга и подавления дельта-активности. По результатам лечения значительно уменьшилась частота приступов, но их интенсивность сохранилась. Примечательно, что проведение сеансов с «ложной» обратной связью (метод плацебо) приводило к учащению судорожных припадков. Таким образом, авторы показали, что положительные результаты при использовании нейробиоуправления нельзя объяснить неспецифическими эффектами процедуры.

Высокая результативность медитации при лечении лекарственно-устойчивых судорожных расстройств достигалась, когда пациента не включали в контур обратной связи. В основном имеются данные о единичных, но достаточно длительных наблюдениях, в которых очень сложно провести границу между неспецифическими эффектами тренинга и истинными эффектами обучения.

ЭЭГ-БОС-тренинг в наркологической практике. Структурные и функциональные нарушения в работе головного мозга могут являться причиной психических расстройств. Такие нарушения способны изменять параметры ЭЭГ и вызванных потенциалов, а при наличии определённых заболеваний имеют характерные особенности. В частности, некоторые аддиктивные расстройства вызывают сниженную представленность альфа-ритма и увеличенную активность в бета-диапазоне при анализе спектра ЭЭГ. Подобные наблюдения дают основание предполагать, что нормализация ритмической структуры ЭЭГ, т. е. изменение патологического состояния мозга, может приводить к изменениям и на поведенческом уровне организации психики [16].

Один из способов направленно влиять на параметры ЭЭГ и связанную с ними мозговую активность – это БОС-тренинг. При этом используется специальная компьютерная терапевтическая среда, в которую вводят пациента и которая обеспечивает получение информации о состоянии мозга по ЭЭГ в режиме реального времени. Вследствие этого возникает возможность воздействовать на церебральные структуры, которые контролируют определённые паттерны электрической активности. Локализацию электродов и иные параметры ЭЭГ-БОС изменяют в соответствии с целями лечения, видом заболевания, что фиксируется в т. н. протоколе биоуправления. В терапевтических целях при формировании протокола часто используют принцип «бульдозера», целью которого является нормализация патологически изменённых паттернов ЭЭГ. В частности, если конкретный пациент имеет на ЭЭГ избыток какого-либо параметра, задачей биоуправления является снижение данного параметра, а если наблюдается недостаток другой характеристики ЭЭГ – её необходимо повысить. Образно говоря, «метод работает словно бульдозер, заполняя ямы и выравнивая ухабы» [26].

Применение бета-тренинга в педиатрической и педагогической практике. В процессе развития использования БОС одной из целей было улучшение контроля физиологических систем при наличии в них дисфункции, которая сочетается с нарушением, болезнью или болезненным состоянием. Важным примером является синдром дефицита внимания с гиперактивностью или без неё (СДВ/Г). На первых этапах это расстройство рассматривали в качестве патологии, характеризующейся склонностью к деструктивному поведению. Позднее подобные нарушения в поведении начали считать синдромом минимальной мозговой дисфункции. Но уже тогда стало понятно, что должны присутствовать нарушения в работе мозга, которые приводят к изменениям в поведении и к расстройству внимания. Со-

временный термин, обозначающий данное расстройство, – «расстройство внимания с гиперактивностью или гиперактивное расстройство с дефицитом внимания» – появился в клинической практике с момента утверждения классификации *DSM III*. За последние годы накоплен большой фактический материал, подтверждающий, что СДВ/Г возникает при нарушении обмена нейротрансмиттеров. Дж. Любар опубликовал работу, в которой провёл анализ исследований СДВ/Г на протяжении 17 лет и описал ряд деталей нейрофизиологического статуса при этом расстройстве, рассматривая его в качестве патологии фронтальной корковой ассоциации. Р. Баркли, подвергая критике применение БОС для лечения СДВ/Г, привёл полученные психометрические подтверждения того, что следует описывать данное расстройство преимущественно как дисфункцию лобных долей. Он установил, что при СДВ/Г нарушается центральный метаболизм, из-за чего снижается утилизация глюкозы в лобной и центральной областях головного мозга.

Обобщая, заметим, что на основании большого количества научных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. При СДВ/Г наблюдается дефицит функционирования лобной и прецентральной локализации.

2. Характерными проявлениями СДВ/Г являются прежде всего снижение церебрального метаболизма, уменьшение потребления кислорода и, очевидно, ослабление кровотока в этих областях.

3. При данном нарушении наблюдается дефицит допаминергической трансмиссии от ствола мозга к этим областям и в ряде случаев возрастает продуцирование норадреналина. Механизм стимулирующего действия метилфенидата состоит в восстановлении допаминергической трансмиссии, в первую очередь в левом полушарии, и в уменьшении повышенного выброса норадреналина в правом полушарии.

В основе применения НБУ для лечения СДВ/Г лежат нейробиологические особенности этого состояния. Медленные ЭЭГ-паттерны, которые обнаруживаются в центральных и лобных отделах коры при СДВ, отражают нарушения метаболизма, сниженный церебральный кровоток и уменьшенную утилизацию кислорода. Изменённая ЭЭГ-активность может также являться косвенным свидетельством изменения функции нейротрансмиттеров в этих областях. Можно считать, что НБУ путём изменения ЭЭГ способно оказывать влияние на состояние функции нейротрансмиссии и церебрального кровотока.

М. Тэнси и Р. Брюнер первыми рассмотрели возможность использования ЭЭГ-БОС в терапии СДВ/Г. Авторы изучали эффекты совместного использования ЭМГ- и ЭЭГ-тренинга у 10-летнего мальчика, страдавшего расстройством дефицита внимания, дополненного отставанием в чтении. В статье, опубликованной в журнале *Biofeedback & Selfregulation*, были представлены обнадеживавшие результаты по применению *SMR*-тренинга и подавлению медленной активности. Бо-

лее поздние публикации М. Тенси касались преимущественно расстройств обучения, а не вопросов неврологии. Общее количество публикаций на эту тему в медицинских журналах невелико. Можно отметить работу К. Манна и Д. Любара, опубликованную в *Pediatric Neurology*, о результатах контролируемого исследования, темой которой являлся количественный анализ ЭЭГ у мальчиков с расстройством внимания при СДВ/Г. Был зафиксирован факт статистически достоверного увеличения интенсивности биоэлектрической активности в тета-диапазоне в центральных и фронтальных областях, одновременно с которым снижалась активность в медленной и быстрой частях бета-диапазона в задних отделах коры. Регистрацию ЭЭГ проводили при открытых глазах во время чтения и рисования. В исследовании приняли участие 25 пациентов с СДВ/Г и 27 здоровых добровольцев в качестве контрольной группы.

7. Нейромышечная релаксация на основе метода биологической обратной связи

Мышечная релаксация. Впервые проблемы нейромышечной релаксации были освещены в труде Э. Джекобсона «Прогрессивная релаксация», опубликованном в 30-х гг. XX в. Автор показал, что психические проблемы человека и его тело взаимосвязаны друг с другом. Например, наличие тревоги и беспокойства вызывает напряжение мышц, и наоборот, мышечное напряжение может усиливать отрицательные эмоции [17].

Вследствие этого в организме человека, который часто испытывает стресс, создаётся т. н. мышечный корсет, присутствующий постоянно и служащий причиной напряжения психики. Механизм явления связан с тем, что в результате получения дополнительных порций возбуждения от напряжённых мышц мозг дополнительно активизируется, посылая в ответ новые импульсы к мышцам. Чтобы разомкнуть данный патологический круг, нужно научиться расслаблению своих мышц, поскольку, с точки зрения Джекобсона, состояние расслабления мышц несовместимо с тревогой. Предполагалось, что следует попробовать вначале снять напряжение мозга, однако на практике такой подход оказался более приемлем для людей, воспитанных в восточных традициях, например для индийских йогов или буддистских монахов. Человек западной культуры привык использовать что-то более существенное и материальное (например, мышцы), чем нечто идеальное и слабо контролируемое, такое как мысли и эмоции.

Исходя из этого, Джекобсон предложил пациентам освоить мышечную релаксацию для того, чтобы добиться расслабления своего напряжённого сознания. Он разработал технику, позволяющую произвольно расслаблять мышцы при аффективном состоянии, что давало возможность снимать эмоциональную напря-

жённость. Такая техника также могла использоваться для профилактики подобных состояний.

В мозг человека непрерывно поступает информация о состоянии всех внутренних органов и скелетных мышц. Этот процесс аналогичен действию компьютера, который периодически сканирует своё состояние при помощи специальной программы. Но при этом взаимодействие сознания с телом заметно меняется в зависимости от того, что делает человек: отдыхает, читает литературу или выступает на спортивной арене.

Различные отрицательные эмоции сопряжены с вполне определённым состоянием кровеносных сосудов и скелетных мышц, а человеческий мозг сохраняет в памяти весьма значительный набор определённых психофизиологических состояний. В момент воздействия стресса на человека происходит напряжение мышц, усиление сердцебиения, что приводит к ещё большему общему напряжению организма. Но если человек сможет добиться расслабления своих мышц и нормализации дыхания, то это приведёт к снятию возбуждения мозга, а затем и к затиханию эмоций (рис. 2).



Рис. 2. Зависимость степени напряжения мышц от времени релаксации

На рис. 2 показано достижение глубокого расслабления мышц с помощью их предварительного напряжения при обычном способе расслабления (1) и при расслаблении после предварительного напряжения (2).

Специалистами по управлению функциональным состоянием отмечалось, что такого рода упражнения характеризуются чередованием сильного напряжения и последующего быстрого расслабления выбранной мышечной группы. При этом субъективными ассоциациями процесса расслабления являются ощущение размягчения, волнообразное распространение тепла и приятной тяжести в контролируемом участке тела, чувство покоя и расслабления.

Метод биологической обратной связи по электромиограмме (ЭМГ-БОС).

Всё большее количество специалистов, занимающихся восстановительным лечением и реабилитацией, использует метод БОС по ЭМГ, который позволяет добиваться направленной коррекции двигательных функций с помощью объективного контроля сигналов обратной связи [16].

Использование данного метода позволяет формировать и целенаправленно усиливать восходящий афферентный поток от работающих под контролем обратной связи мышц в ЦНС. Это способствует ускорению процесса образования новых функциональных связей, которые дают возможность формировать двигательные навыки и вырабатывать новый правильный стереотип движений.

Основная причина двигательных расстройств, например, при ДЦП – это нарушенное взаимодействие между структурами, которые отвечают за управление движением, и исполнительным аппаратом (мышцами и суставами). Целью ЭМГ-БОС является возвращение этих взаимоотношений к норме. Для этого пациент в виде сигналов обратной связи оперативно получает информацию (звуковую или визуальную) о процессах, которые происходят в его мышцах с нарушенным над ними контролем. Эти сигналы включаются, когда на экране монитора наблюдается определённый уровень биоэлектрической активности мышцы в виде огибающей электромиограммы (интегральной или суммарной). При этом амплитуда сигнала ЭМГ определяется уровнем биоэлектрической активности в мышце.

Реабилитация двигательных расстройств при ДЦП производится с применением порогового способа предъявления сигналов БОС пациенту. Если используют пороговые уровни при включении сигналов, то появляется возможность проводить дозирование мышечной нагрузки, повысить объективность контроля за ходом лечения, облегчить выполнение заданий пациентом. Такие возможности особенно важны при реабилитации детей, поскольку существует необходимость постоянной поддержки у них высокого уровня внимания и мотивации.

ЭМГ-БОС отличается высокой адресностью, поэтому процесс реабилитации реализуется не путём замещения двигательного дефекта за счет других мышц, над которыми ещё сохранился произвольный контроль, а благодаря восстановлению или воспитанию управления поражёнными группами мышц.

Управляющий сигнал к контролируемой мышце обнаруживается только тогда, когда в ней появляется биоэлектрическая активность. Если же эфферентный сигнал не поступает в нужную мышцу, то даже при условии внешне правильно выполненного движения, но произведенного за счёт других мышц (по типу замещения), никаких изменений параметров сигналов обратной связи не обнаруживается.

Пациент ориентируется на эти сигналы, дающие информацию о тонких процессах, которые происходят в нервно-мышечном аппарате во время попытки выполнения того или иного движения. И он с помощью метода проб и ошибок отыс-

квивает приёмы, позволяющие ему обучаться произвольно контролировать те функции, которыми ранее ему управлять не удавалось.

БОС по ЭМГ позволяет решить целый ряд задач:

- выработать кинестезию и проприорецепцию;
- снизить патологически повышенный мышечный тонус и расслабить спастичные мышцы;
- улучшить сократительную способность отдельных мышц и мышечных групп;
- выработать или восстановить нормальные взаимоотношения мышц во время выполнения произвольных движений (улучшить реципрокные отношения мышц-антагонистов);
- устранить непроизвольные движения (синкинезии, гиперкинезы, тремор).

Длительность ЭМГ-БОС курса тренинга для ребёнка определяется его возрастом и состоянием. Детям 5–8 лет рекомендуют курс из 10–12 сеансов по 25–30 мин ежедневно или 4 раза в неделю. Детям 9–10 лет курс увеличивают до 15–20 сеансов по 30–35 мин ежедневно или 4 раза в неделю. Аналогичный курс назначают детям старше 14 лет – также 15–20 сеансов по 30–40 мин.

Сеансы БОС по ЭМГ. Если движение в ходе тренировки выполняется правильно, т. е. когда ЭМГ превышает заданный порог, включается сигнал обратной связи. Но когда ЭМГ ниже, чем пороговое значение, сигнал выключается. При работе с компьютерным комплексом БОС для визуализации порогового уровня ЭМГ мышц на экране монитора используют линии, графики, телеигры, видеофильмы и т. д. Благодаря наглядности представления информации происходит повышение роли осознанного управления тренировкой и возникает возможность контроля и дозирования нагрузки как самим пациентом, так и персоналом путём выбора пороговых уровней.

Наработанные во время сеансов ЭМГ-БОС способы изменять направление и интенсивность афферентных потоков от исполнительного нервно-мышечного аппарата пациента можно впоследствии вызвать и закрепить в его долговременной памяти.

Показания и противопоказания применения метода БОС по ЭМГ. Больным на ранней и поздней резидуальной стадиях ДЦП метод БОС по ЭМГ показан преимущественно для следующих случаев:

- спастические формы различной степени тяжести;
- гиперкинетическая форма лёгкой и средней тяжести;
- мозжечковая форма лёгкой и средней тяжести;
- смешанная форма с лёгкой и средней степенью выраженности гиперкинетического или мозжечкового компонента.

Имеются некоторые ограничения и противопоказания для метода ЭМГ-БОС, основными из которых являются: возраст до 5 лет; наличие выраженного снижения интеллекта либо грубых нарушений высших корковых функций или психоэмоциональной сферы; наличие органических контрактур или грубых органических изменений мышечной ткани; дегенеративно-дистрофические заболевания; частые эпилептические припадки; общие противопоказания для ЛФК.

Поведенческая терапия. В основе теории метода поведенческой терапии лежит основной постулат бихевиоризма (англ. behaviour – поведение), согласно которому человек всему постоянно учится. Если у него имеются нарушения поведения, то его можно и следует научить другим, адаптивным моделям поведения. Поведенческую терапию представляют 4 метода, используемых в разных комбинациях.

1. Условно-рефлекторная, или аверсивная, терапия основана на классическом обучении – подавлении условного рефлекса, который приводит к появлению симптома расстройства. Это делается путём формирования отвращения к объекту болезненной потребности и/или подкрепления желательного поведения посредством разного рода поощрений.

2. Научение путём наблюдения за кем-либо. Например, пациенту показывают, как кого-то поощряют за адекватное поведение или наказывают за неправильное, патологическое. Тем самым он получает возможность самостоятельно сделать для себя вывод о том, как следует себя вести, чтобы не иметь неприятностей и/или получить вознаграждение.

3. Научение путём подражания. Дети, а нередко и взрослые склонны подражать авторитетным фигурам. Если, предположим, ребёнка пытаются побудить к чтению, то лучше, чтобы ему подавал пример человек, который является для него авторитетной фигурой и к которому он привязан. Если родители сами не читают, то приучить это делать ребёнка очень трудно.

4. Методы терапии, основанные на оперантном научении (лат. operatio – действие), при котором подкрепляющим фактором является результат собственных действий. Считается доказанным, что при таком научении положительным подкреплением какой-либо реакции организма является в основном удовлетворяющий индивида результат его деятельности. При оперантном научении используются также разнообразные поощрения адекватного поведения, бонусы.

БОС-терапия является разновидностью поведенческой терапии. Пациент обучается не реагировать на те или иные ситуации хотя и типичным, но нежелательным образом. Современные технические средства позволяют в реальном времени получать информацию о работе практически любой из систем организма человека: сердечно-сосудистой, двигательной, центральной и вегетативной нервной систем. Снимаемые показатели характеризуют работу этих систем как в нормальном, так и в отклонившемся от субъективной нормы состоянии. БОС-терапия

наглядно демонстрирует, как можно использовать сознание человека для непосредственного контроля над его собственным телом, анализируя сигналы нервной системы, позволяет естественным, безмедикаментозным способом оптимизировать нормальные и скорректировать нарушенные физиологические функции организма. Обязательным условием БОС-терапии является мотивация пациента на достижение результата. Таким образом, использование биологической обратной связи превращает пациента из объекта врачебных вмешательств в активного и заинтересованного участника лечебного процесса.

8. Применение методов биологической обратной связи в психокоррекции и саморегуляции в лечении детей и спорте

БОС – это комплекс современных высокоэффективных методов и технологий, базирующихся на принципах обратной связи и направленных на активизацию внутренних резервов организма, развитие самоконтроля и саморегуляции путём формирования программы физиологически адекватного управления функциями организма.

Метод БОС-коррекции психоэмоционального состояния и речевого развития применяется с целью профилактики и лечения невротических, психологических и психосоматических расстройств, возникших под воздействием хронического стресса и психически травмирующих переживаний. Метод БОС-коррекции позволяет научиться управлять своим психоэмоциональным состоянием и положительно влиять на собственную жизнь [18].

БОС-тренинг в детской терапии. Целью работы по методу БОС-коррекции является повышение уровней осознания и произвольного контроля физиологических процессов у детей, имеющих ограниченные возможности по здоровью. Идея и технология БОС-коррекции разработана А. А. Сметанкиным – учёным-физиологом из Санкт-Петербурга, президентом Российской ассоциации БОС [16].

Основными преимуществами разработанной технологии являются:

- *объективность* (метод основывается на регистрации биоэлектрических импульсов, которые генерируются внутренними органами);
- *аналитичность* (интерпретация результатов происходит с помощью компьютерных аналитических программ);
- *комплексность* (одномоментно исследуются все органы и системы);
- *визуализация* (результаты представляются на экране монитора в наглядном графическом виде);
- возможность *наблюдать динамику параметров* в режиме реального времени;
- возможность *обучения ряду навыков*, таких как саморегуляция, релаксация и управляемое восстановление поражённых органов и систем;

– *высокоэффективная диагностика* и лечение вегетососудистой дистонии и иных патологий вегетативной нервной системы, которые неизлечимы в рамках обычной медицины;

– наличие *полной совместимости со всеми методами* традиционной медицины;

– *продолжительный эффект* с возможностью формировать устойчивые навыки самокоррекции психических и физиологических процессов.

Примером компьютерной БОС-технологии, применяемой для реабилитации и коррекционной работы с детьми с нарушением опорно-двигательного аппарата, является программа «*Нейрокор*» – составная часть кабинета коррекции психоэмоционального состояния, где с 2013 г. используют обучающие мультимедийные программы для БОС-терапии.

Комплекс включает в себя аппаратную часть и программное обеспечение (рис. 3).



Рис. 3. Комплекс БОС-терапии с использованием обучающих мультимедийных программ

Аппаратная часть включает в себя:

– измерительный преобразователь биоэлектрических и биомеханических сигналов организма человека для работы с компьютером по методу БОС;

– датчик ЧСС, позволяющий регистрировать сигнал ЭКГ с поверхности грудной клетки;

– датчик частоты дыхания, регистрирующий дыхательные движения брюшной стенки;

– электромиографический датчик для регистрации биоэлектрической активности работающих мышц;

– электроэнцефалографический датчик для регистрации биоэлектрической активности головного мозга.

Программа состоит из трёх основных направлений работы:

1. Биологическая обратная связь по дыхательной аритмии (ДАС-БОС) предназначена для обучения навыку диафрагмально-релаксационного дыхания, для чего используется оригинальная методика биоуправления по дыхательной аритмии сердца, целью которой является нормализация деятельности кардиореспираторной системы и установление баланса симпатической и парасимпатической вегетативной нервной системы.

Выработку навыка диафрагмально-релаксационного типа дыхания с максимальной дыхательной аритмией сердца (дыхание по А. А. Сметанкину) осуществляют с помощью специально разработанного набора сюжетов (от простого к сложному), в которых имеется определённая смысловая нагрузка и учитываются механизмы наиболее эффективного обучения. Навык дыхания по А. А. Сметанкину даёт возможности:

- овладения надёжным навыком синхронизации дыхания и работы сердца;
- достижения максимальной индивидуальной дыхательной аритмии сердца;
- улучшения показателей функции внешнего дыхания;
- нормализации артериального давления;
- снижения уровня психоэмоционального напряжения.

2. ЭМГ-БОС позволяет обучать навыкам нервно-мышечной релаксации. Обучение произвольному снижению повышенного мышечного тонуса с помощью БОС по электромиограмме, в том числе по методу Джекобсона (с чередованием сокращений и последующих расслаблений различных мышечных групп с БОС), осуществляют при постоянном контроле уровней активности мышц, используя цепи зрительной и звуковой обратной связи.

Регулярные сеансы ЭМГ-БОС-тренинга позволяют достичь:

- глубокой степени нервно-мышечного расслабления (мышечный покой);
- уменьшения проявлений психосоматических и других нервно-психических расстройств;
- повышения эффективности курса коррекции психоэмоционального состояния.

3. В рамках применения ЭЭГ-БОС пациента обучают управлять определёнными ритмами электрической активности головного мозга. Этот метод обеспечивает достоверную регистрацию электрических сигналов коры больших полушарий головного мозга.

Полный курс по технологии БОС состоит из нескольких периодов:

- 1) предварительного;
- 2) основного;
- 3) заключительного (поддерживающего).

Предварительный период, во время которого собираются данные о ребёнке, проводятся консультации невролога, психолога, психодиагностика когнитивного, интеллектуального развития и эмоциональных нарушений. Врач-невролог принимает решение о допуске или недопуске ребёнка к сеансам по методу БОС, о чём делается запись в специальном журнале.

Основной период делится на три этапа. На первом этапе ребёнка обучают технике диафрагмально-релаксационного дыхания. Второй этап состоит в приобретении навыка мышечного контроля. Третий этап основан на использовании аппаратного метода обучения саморегуляции.

Заключительный период (поддерживающий). Врачи-специалисты консультируют родителей или законных представителей ребёнка, предоставляя им результаты и выводы по проделанной работе с использованием технологии БОС.

Применение элементов мультипликации позволяет внести в процесс обучения разнообразие, сделать его более интересным. При использовании игровых ситуаций усвоение материала происходит незаметно для ребёнка (рис. 4).

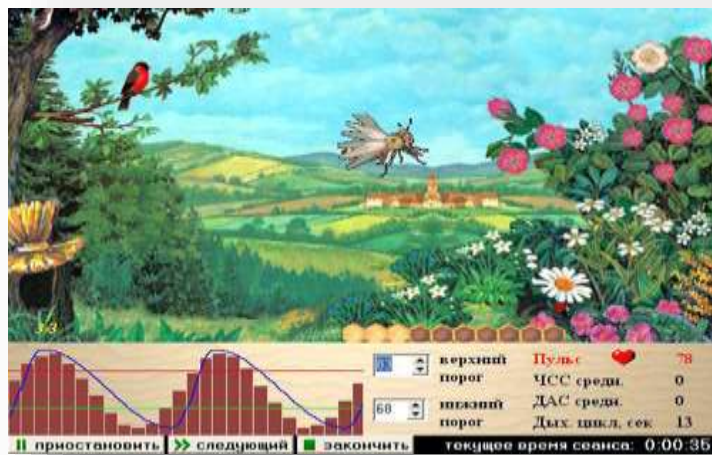


Рис. 4. Экран игровой ситуации

Для использования метода БОС необходимо выполнение ряда условий:

- минимальная сохранность функции, подлежащей коррекции;
- минимальная сохранность интеллекта, обеспечивающая понимание инструкций и их выполнение;

– сохранность эмоционально-волевой сферы (это условие касается не только патологических состояний психики, тесно связанных с нарушениями интеллекта, но и с наличием мотивации;

– минимально допустимый возраст ребёнка (8 лет) для занятий по методу БОС с целью психоэмоциональной коррекции.

Применение метода БОС для детской терапии рекомендуется в следующих случаях:

- при опорно-двигательной патологии;
- заболеваниях сердечно-сосудистой системы;
- бронхо-лёгочных заболеваниях;
- психосоматических заболеваниях;
- коррекции зрения;
- коррекции речи;
- быстрой утомляемости;
- нарушении способности контролировать своё поведение;
- отсутствии коммуникативных навыков;
- психологических проблемах в коллективе;
- чувстве постоянной усталости, плохой памяти;
- проблемах с успеваемостью в учёбе;
- низкой работоспособности;
- нарушениях сна, страхах;
- патологии речи, заикании.

К преимуществам метода БОС можно отнести:

- отсутствие абсолютных противопоказаний к применению;
- физиологичность, т. к. данный метод основан на активизации и мобилизации собственных резервов организма человека;
- наличие чёткой направленности при коррекции нарушений опорно-двигательного аппарата;
- возможность дозирования и контроля нагрузок как во время каждого занятия, так и на протяжении всего курса;
- возможность осуществления объективно-диагностических мероприятий;
- объективная необходимость индивидуально-психологического подхода при проведении каждого коррекционного занятия;
- требование к ребёнку активно участвовать в собственном развитии;
- сочетаемость со всеми видами проводимых медицинских и педагогических мероприятий;
- отсутствие ограничений на применение каких-либо лечебных мероприятий в будущем;

- безболезненность;
- значительное повышение уровня физического развития;
- стимулирование дальнейшего развития мышления, обеспечение интеллектуальной подготовки к обучению в школе.

Таким образом, применение технологии БОС по компьютерным программам в педагогической практике – это современный высокоэффективный способ как физического, так и умственного развития ребёнка.

БОС-тренинг в спорте. Технологии БОС активно внедряются в практику подготовки спортсменов, в том числе в спорте высших достижений. Для подготовки спортсменов применяют следующие основные категории БОС-процедур [19]:

- БОС на основе контроля вегетативных показателей (температуры, дыхательных и сердечных ритмов, кровотока, электропроводимости кожи);
- БОС по показателям электромиограммы скелетных мышц (для использования в протоколах релаксации и реабилитации);
- БОС по параметрам электроэнцефалограммы.

Этапы психофизиологической подготовки спортсменов на основе биоуправления. Стандартные программы психофизиологической подготовки спортсменов с применением биоуправления складываются из четырёх основных этапов: диагностического, базового, специфического и углубленного.

Диагностический этап необходим для того, чтобы определить актуальное психофизиологическое состояние спортсмена. В рамках него проводятся психодиагностика и психофизиологическое стресс-тестирование. Диагностический этап требуется предварительно планировать, основываясь на специализации спортсмена.

Базовый этап предназначен для научения техникам, которые направлены на управление физиологическими функциями, а также для выработки навыков быстрого восстановления, с постепенным усложнением БОС-процедур. Вначале используют процедуры для освоения управления дыханием: спортсмены приобретают навыки психической и физической релаксации, формируют абдоминально-релаксационный тип дыхания (используют двухканальный тренинг на взаимодействие кардиореспираторного резонанса), затем используют метод ЧСС-БОС), а далее вводятся БОС-процедуры по показателям ОЭМГ и осваивается метод расслабления по температурным показателям.

Специфический этап служит для подбора БОС-процедур с учётом специализации спортсмена, например, в тех видах спорта, где ключевым фактором для высоких достижений является межмышечная и внутримышечная координация, в приоритете углубленные БОС-процедуры по показателям ОЭМГ (со сценариями повышенной сложности). Для спортивных дисциплин, в которых решающим фак-

тором, позволяющим получить высокие результаты, является выносливость, проводят БОС-процедуры, цель которых – тренировка кардиореспираторной системы.

В рамках *углубленного этапа*, основываясь на методике НБУ, персонал составляет БОС-процедуру таким образом, чтобы максимально учесть индивидуальные особенности спортсмена. Согласно рекомендациям одновременно осуществляют регуляцию нескольких психофизиологических функций, что обеспечивает проработку слабых мест и приближение спортсмена к оптимальному уровню функционирования и нацеленности на победу.

Таким образом, применение БОС-процедур даёт возможность модернизировать всю систему спортивной подготовки. Появляется возможность получать данные об индивидуальной психофизиологической готовности каждого спортсмена, что может быть эффективно использовано при определении списка участников сборных команд для международных соревнований различного уровня.

Основные направления применения БОС-тренинга в спорте. Основная цель традиционных методов БОС-тренинга по вегетативным показателям – выработка устойчивости к стрессам и способности преодолевать экстремальные психологические нагрузки, а также наработка и совершенствование специфических навыков и свойств, значимых для конкретных видов спорта. Это достигается посредством добавления в контур обратной связи показателей, реагирующих на спортивные нагрузки в ходе тренировок. Подобные методы БОС-тренинга также позволяют увеличить эффективность процессов реабилитации и восстановления после соревнований и интенсивных тренировок.

Внедряются прогрессивные методики научения спортсменов произвольному вхождению в психофизиологическое состояние, обеспечивающее максимальную готовность получить высочайший результат и проявить волю к победе.

Формируются психологические свойства и навыки, которые позволяют достигать вершин спортивного мастерства, параллельно улучшая качественные показатели психосоматического здоровья спортсменов. В ходе обучения усиливаются наиболее значимые психофизиологические функции спортсмена благодаря использованию подходящих разновидностей ЭЭГ-БОС-тренинга (ментального), вследствие чего спортсмен может самостоятельно входить в оптимальное психофизиологическое состояние и оставаться в нём. За рубежом такое состояние обозначают термином *The Zone* – состояние победителя.

Возрастает качество и ускоряется техническая подготовка (при разучивании новых сложных элементов и движений, при коррекции ошибок, при наработке оптимальных стереотипов движения и т. п.).

Приобретается способность оптимизировать функциональное состояние как на тренировках, так и перед решающими стартами, происходит рост мотивации к достижению наивысших результатов. Обеспечивается развитие специальных навыков (скорости реакции, выносливости и т. п.).

Расширяется внедрение специализированных БОС-процедур, в которых применяются модели стрессогенных воздействий, направленные на выработку умения контролировать собственный эмоциональный отклик на соматическое напряжение. Поэтому подобные процедуры можно использовать в качестве анти-стрессовой терапии и для приобретения навыков устойчивости к стрессам.

Одним из главнейших достоинств БОС является то, что в данной методике не используются ни физические, ни химические или медикаментозные воздействия на человека.

9. Нейробиоуправление сердечно-сосудистой системой человека

К настоящему времени разработаны предпосылки по использованию БОС-методик в медицинской реабилитационной практике, которые позволяют решать следующие задачи [16]:

- 1) получать информацию о функционировании определённых систем организма или внутренних органов, которая обычно недоступна для человека;
- 2) обучить пациента произвольно управлять функциями выбранной физиологической системы или внутреннего органа;
- 3) использовать при решении указанных задач специальные технические устройства, предназначенные для обеспечения пациента (и/или инструктора БОС) информацией в доступном для человека виде.

Основы для применения метода БОС. Обязательным требованием, предъявляемым к физиологической функции, выбранной в качестве объекта воздействия метода БОС, является возможность проводить её объективную регистрацию и количественную оценку. Существует множество физиологических параметров, удовлетворяющих таким требованиям. Например, имеются литературные данные об использовании БОС, основанной на контроле систолического и диастолического артериального давления, концентрации углекислого газа и кислорода в выдыхаемом воздухе, показателей функции внешнего дыхания и т. п.

Однако на практике наиболее часто в качестве регистрируемых параметров используют частоту сердечных сокращений, величину дыхательной аритмии сердца, частоту дыхательных циклов, периферическую температуру, кожно-гальваническую реакцию, показатели ЭЭГ и ЭМГ.

На рис. 5 представлены основные этапы (или компоненты) общей схемы коррекции функций организма человека, которые обеспечивают замыкание контура биологической обратной связи в ходе лечебной процедуры.

Наиболее важными в методе БОС являются три составляющие:

- 1) сам пациент;
- 2) аппаратура для биологической обратной связи;
- 3) инструктор БОС, который управляет учебными сеансами.

На схеме в прямоугольнике, ограниченном сплошной жирной линией, находятся элементы биологической обратной связи, относящиеся непосредственно к организму пациента. Элементы, помещённые за пределами прямоугольника, – это внешние составляющие метода БОС, или цепь внешней обратной связи.

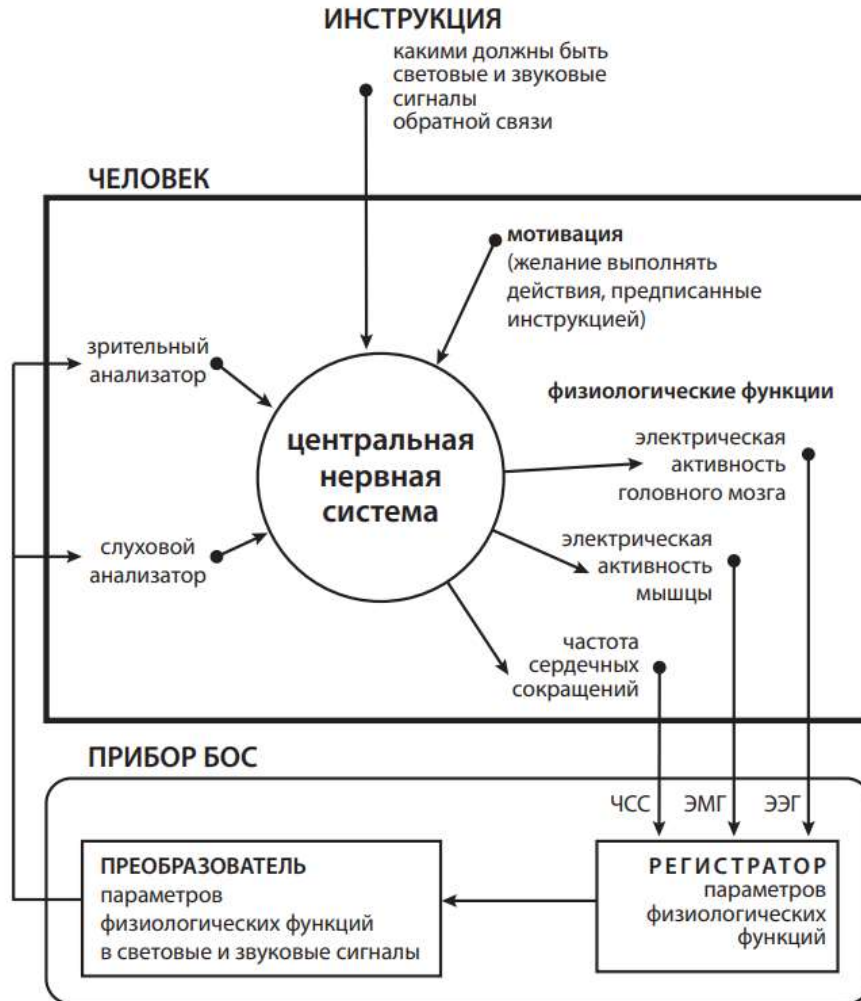


Рис. 5. Схема коррекции функций организма методом БОС [16]

БОС по частоте сердечных сокращений, или ЧСС-БОС. Данная методика довольно широко распространена в Америке и Японии. Показана возможность произвольно, т. е. воздействием воли, ускорять и замедлять ритм сердца с помощью БОС [3].

Однако основу терапевтического эффекта составляет не обучение произвольному ускорению или замедлению сердечной деятельности, а формирование навыков, позволяющих контролировать состояние, например, блокировать пароксизмы сердцебиения, снимать состояние тревоги или сильного страха. Этот же подход даёт возможность корректировать некоторые виды аритмий. В частности,

использование ЧСС-БОС позволяло снижать уровень тревожности при кардионеврозах, а также уменьшать уровень тревожности перед публичным выступлением [3].

В последнее время активно распространяется метод *БОС по дыхательной аритмии сердца*, разработанный А. А. Сметанкиным. В англоязычной литературе используется термин *RSA-тренинг (Respiratory Sinus Arrhythmia – синусовая дыхательная аритмия)*.

Патент на метод был получен в 1989 г., а впоследствии *RSA-тренинг* интенсивно развивался фирмой «Биосвязь». Метод формирует целый комплекс навыков, которые позволяют выработать абдоминально-релаксационный тип дыхания и синхронизировать дыхательный и сердечный ритмы, вследствие чего:

- увеличивается *RSA*;
- снижаются средняя ЧСС и частота дыхания;
- нормализуется внутренняя среда организма.

В результате плодотворного сотрудничества фирмы «Биосвязь» с рядом американских учёных и учреждений метод стал активно распространяться в США. В конце XX в. была осуществлена поставка аппаратного комплекса в Университет штата Нью-Джерси и организованы курсы по обучению персонала практике проведения *RSA-тренинга*. В настоящее время методика акцептируется в США, на канале *CNN* даже выходили передачи о *RSA-методе*. Работы по адаптации методов субсидируют правительственные структуры США.

Основные реализованные направления применения *RSA-тренинга* в США – это лечение бронхиальной астмы, релаксационная терапия, снижение уровня тревожности.

Следует сказать, что разработка и применение отдельных модальностей БОС на Западе привела к одновременному росту интереса к мультимодальным терапевтическим подходам, при которых разные виды БОС используют совместно или отдельно на определённых этапах лечения.

БОС-методика терапии сердечно-сосудистых и сердечно-лёгочных патологий основана на эффекте дыхательной аритмии сердца (ДАС), суть которого состоит в вариации частоты сердечных сокращений с периодом, совпадающим с периодом дыхания.

При проведении сеансов БОС пациент осваивает диафрагмально-релаксационный тип дыхания, что позволяет синхронизировать дыхательный и сердечный ритмы и, как следствие, стимулирует увеличение ДАС, снижение ЧСС и частоты дыхания.

Перечисленные эффекты в конечном итоге способствуют росту резервных возможностей кардиореспираторной системы и оптимизации ассоциативных вегетативных связей между водителями ритмов сердца и лёгких.

ЧСС-БОС-метод обладает следующими преимуществами:

- 1) не имеет абсолютных противопоказаний к применению;
- 2) является физиологичным, поскольку основан на активизации и мобилизации собственных резервов человеческого организма;
- 3) позволяет дозировать и контролировать нагрузки как в ходе каждого сеанса, так и на протяжении всего курса лечения;
- 4) даёт возможность проводить объективно-диагностические мероприятия (например, выявлять нарушения ритмов сердечной деятельности);
- 5) требует от пациента активного участия в собственном лечении, что, соответственно, повышает эффективность его применения;
- 6) сочетается с большинством видов осуществляемых лечебных и реабилитационных мероприятий, часто приводя к синергическому эффекту;
- 7) не ограничивает использования различных лечебных мероприятий в будущем;
- 8) является безболезненным, неинвазивным;
- 9) позволяет снижать или полностью отменять лекарственную нагрузку на организм человека;
- 10) обеспечивает возможность проведения лечения в амбулаторных условиях, что позволяет осуществлять лечебный процесс непрерывно и значительно повышать его результативность.

Метод биологической обратной связи по дыхательной аритмии сердца. Организм стремится к поддержанию постоянства газового состава крови (гомеостаз) с помощью различных механизмов регуляции. Дыхательная и сердечно-сосудистая системы – это основные физиологические системы, участвующие в регуляции гомеостаза. Вследствие этого для оптимального гомеостаза необходимо выполнение трёх условий:

- оптимальная работа дыхательной системы;
- оптимальная работа сердечно-сосудистой системы;
- оптимальная синхронизация функционирования дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

Физиологические механизмы работы дыхательной и сердечно-сосудистой систем по отдельности изучены достаточно подробно, что позволяет выявлять нормальные или нарушенные функции. Однако их взаимосвязанная работа исследована в меньшей степени, хотя она является наиболее важной.

Следует иметь в виду, что сердечно-сосудистая система функционирует автономно, т. е. она практически не поддается сознательному контролю. Тем не менее установлено, что частота сердечных сокращений может быть произвольно уменьшена в среднем на 2–4 уд./мин, а увеличена – на 5–8 уд./мин, причём эффекта уменьшения или увеличения ЧСС, как правило, можно достичь не напрямую, а опосредованно. В табл. 1 приведены данные о влиянии симпатических и

парасимпатических нервов различных органов и тканей на параметры сердечно-сосудистой системы.

Таблица 1

Некоторые виды влияния симпатических и парасимпатических нервов на компоненты сердечно-сосудистой системы, органы и ткани [20]

Орган или система	Стимуляция	
	парасимпатических нервов	симпатических нервов
Сердце	Замедление ритма, уменьшение силы сокращений (предсердий)	Ускорение ритма, увеличение силы сокращений
Артерии кожи и слизистых	—	Сужение
Артерии брюшной полости	—	Сужение
Артерии сердца (коронарные)	—	Сужение/расширение
Вены	—	Сужение
Сосуды мозга	Расширение	Сужение
Продольные и циркулярные мышцы желудочно-кишечного тракта	Усиление моторики	Ослабление моторики
Сфинктеры желудочно-кишечного тракта	Расслабление	Сокращение
Детрузор мочевого пузыря	Сокращение	Расслабление
Внутренний сфинктер мочевого пузыря	—	Сокращение
Мышца, расширяющая зрачок глаза	—	Сокращение (мидриаз)
Сфинктер зрачка глаза	Сокращение (миоз)	—
Цилиарная мышца глаза	Сокращение (аккомодация)	Незначительное расслабление
Трахеобронхиальные мышцы глаза	Сокращение	Расслабление

В 1847 г. К. Ф. В. Людвиг в экспериментах на животных зарегистрировал с помощью кимографа вариацию пульса у собак. На вдохе наблюдалось возрастание частоты сокращений, а на выдохе происходило снижение этого показателя. Ритмичное чередование вдоха и выдоха связано с попеременными разрядами инспираторных и экспираторных нейронов, находящихся в продолговатом мозгу.

Во время активности инспираторных нейронов экспираторные клетки «молчат» и наоборот. Впоследствии сходная картина ДАС была установлена и для человека (рис. 6). Следует отметить, что в спокойном состоянии каждый человек обладает индивидуальным паттерном дыхания «вдох – выдох», который зафиксирован в ЦНС в виде так называемого дыхательного стереотипа.

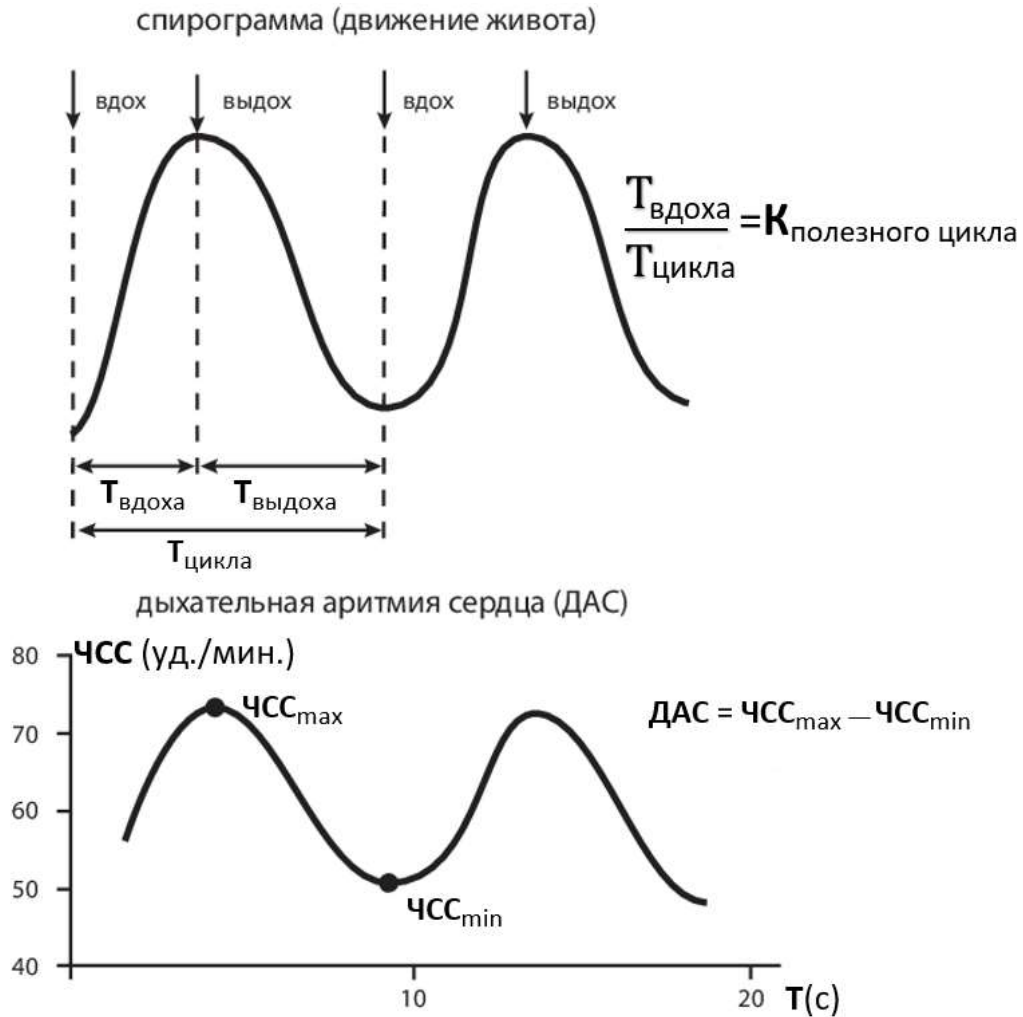


Рис. 6. Изменение частоты сердечных сокращений в различные фазы дыхательного цикла

По мере накопления экспериментальных результатов стало очевидным изменение психофизиологических характеристик человека в процессе его роста и развития. Это, в свою очередь, потребовало учёта наличия и развития тех или иных механизмов, важных с точки зрения эффективности применения методов БОС у пациентов разных возрастных категорий.

Особенности применения метода БОС у детей и у взрослых приведены в табл. 2.

Основные компоненты функций человека, влияющие на эффективность выработки нового навыка с БОС у детей и у взрослых

Компонент	Дети	Фактор	Взрослые	Фактор
Имеющийся навык, стереотип функции	Неустойчивый навык, стереотип	+	Очень устойчивый навык, стереотип	–
Пластичность, резервы, резервы функции	Высокая	+	С увеличением возраста всё меньше	–
Механизмы произвольного управления функциями	Находятся на этапе формирования	–	Полностью сформированы	+
Мотивация (желание выработать новый навык, стереотип); осознание важности нового навыка	Не сформирована, трудно обеспечить высокий уровень (поэтому важна игра)	–	Часто очень высокая, легко сформировать установку на выработку нового навыка, стереотипа	+

Примечание. В табл. 2 приняты следующие обозначения: «+» – положительный фактор; «–» – отрицательный фактор.

В частности, при исследовании зависимости амплитуды изменения частоты сердечных сокращений на протяжении дыхательного цикла было установлено, что значение дыхательной аритмии сердца имеет максимальную величину у детей до 10-летнего возраста (34–44 уд./мин.). С увеличением возраста показатель начинает снижаться достаточно интенсивно и к 40 годам значение ДАС уменьшается в среднем в 3 раза. После 40 лет процесс снижения показателя ДАС становится более медленным. Зависимость величины ДАС от возраста человека приведена на рис. 7.

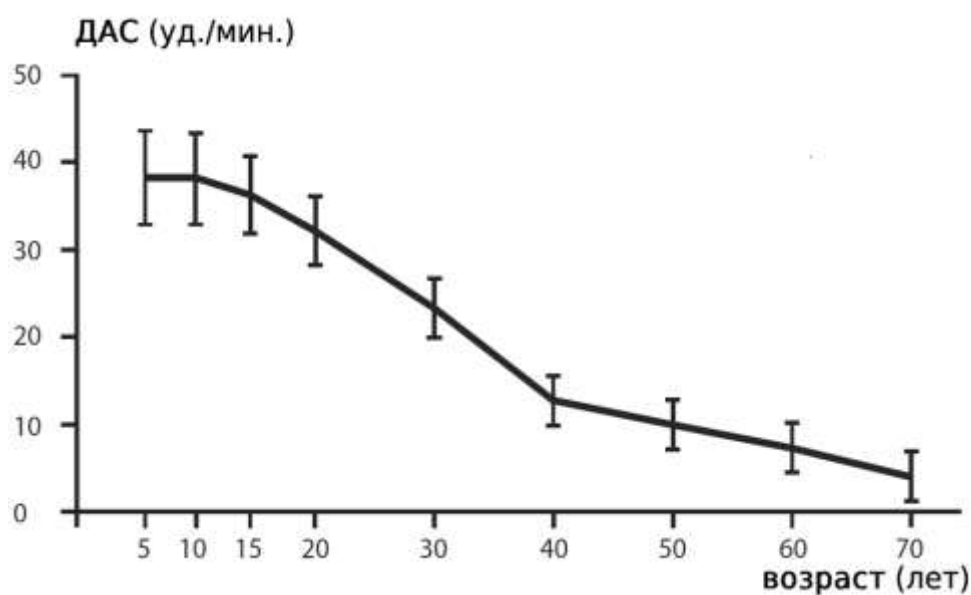


Рис. 7. Динамика изменения величины дыхательной аритмии сердца у здоровых людей с возрастом при RSA-БОС ($N = 98$)

10. Нейробиоуправление в обеспечении функциональной и профессиональной надёжности операторов систем «человек – машина».

Факторы, влияющие на функциональную и профессиональную надёжность оперативного персонала сложных технических систем. В настоящее время во многих приоритетных областях человеческой деятельности основным модулем является система «человек – машина». Определяющим звеном этой системы выступает человек-оператор, от своевременности, точности и надёжности деятельности которого зависит безопасность всей системы. Своевременность и точность деятельности оператора слагаются в надёжность его работы, которая зависит от социальных, психологических, психофизиологических и профессиональных качеств человека [20].

С целью минимизации рисков, связанных со сбоем системы «человек – машина», и для оценки надёжности человека в системе специалистами был выделен ряд профессионально важных качеств (ПВК), влияющих на функциональную и профессиональную надёжность оперативного персонала сложных технических систем (СТС).

Основная цель оценки ПВК:

- выявление качеств, способствующих возрастанию числа аварийных ситуаций на рабочем месте (невнимательность, рассеянность, эмоциональная неустойчивость, быстрая психическая утомляемость, агрессивность, недисциплинированность и др.);
- отстранение оперативного персонала с уязвимыми ПВК от эксплуатации СТС;
- тренинг и развитие уязвимых ПВК.

Факторы, влияющие на функциональную и профессиональную надёжность оперативного персонала СТС, рассмотрим на примере водителя транспорта (автомобиля, поезда и т. п.).

Для поддержания оптимальной работоспособности персонала железной дороги, непосредственно обеспечивающего перевозочный процесс (машинисты, помощники машинистов), созданы санаторно-профилактические учреждения. Психологи проводят индивидуальные занятия по управлению психофизиологическим состоянием работников. Одним из основных направлений данных мероприятий является профилактика стресса.

Обеспечение безопасности движения – важнейшая задача не только на железных, но и на автомобильных дорогах. В современных условиях управление транспортным средством осложняется высокой интенсивностью дорожного движения и участием в нём водителей с различной профессиональной подготовкой. Это обуславливает значительное возрастание психических нагрузок и существен-

но повышает вероятность развития негативных изменений психофизиологического функционального состояния человека, проявляющихся в снижении уровня психической или психофизиологической адаптации, и влекут за собой ошибки, вследствие которых увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий [21].

Структурную схему системы эксплуатации транспортного средства можно представить состоящей из четырех основных элементов: «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС). Основные компоненты структуры деятельности водителя по управлению транспортным средством показаны на рис. 8.



Рис. 8. Основные компоненты структуры деятельности водителя транспортного средства (ФС – физиологическое состояние, ПВК – профессионально важные качества)

Автотранспортная психология, являющаяся ветвью инженерной психологии, изучает закономерности процессов информационного взаимодействия водителя и автомобильной техники с целью использования их в рамках проектирования, создания и эксплуатации компонентов системы ВАДС.

Водитель, учитывая ситуацию, должен:

- быстро и точно реагировать на раздражители;
- оценивать значение окружающих объектов, технические данные автомобиля, которым он управляет;
- принимать правильные решения для маневрирования транспортным средством;
- при необходимости действовать мгновенно с целью предотвращения ДТП.

Технико-эксплуатационные характеристики автомобиля, его исправность, эргономичность рабочего места (подогнанное по росту сиденье, хорошая обзорность, информативность контрольно-измерительных приборов, лёгкость работы с органами управления, соответствующий санитарно-гигиеническим требованиям микроклимат в кабине) способствуют сохранению высокой работоспособности водителей, а следовательно, повышают их функциональную и профессиональную надёжность.

Дорога имеет свои параметры, её обустройство и уровень организации дорожного движения могут облегчать или затруднять работу водителя и, таким образом, оказывать прямое влияние на его функциональную и профессиональную надёжность.

К подобным факторам относятся:

- ширина проезжей части, конфигурация в плане и профиле, состояние покрытия, границы (тротуар, кювет, обочина);
- находящиеся на дороге и в придорожном пространстве транспортные средства, пешеходы, животные, светофорные объекты, дорожные знаки и разметка, неподвижные препятствия.

Среда движения характеризуется освещённостью, влажностью, температурой, ветром, запылённостью, видимостью, а также солнечной геомагнитной активностью и перепадами барометрического давления. От большей части отрицательных воздействий среды водитель должен быть защищён соответствующим техническим обустройством автомобиля.

Критерии и характеристики функциональной и профессиональной надёжности оперативного персонала сложных технических систем. Для выявления качеств, необходимых оперативному персоналу СТС, например водителю, нужно рассмотреть основные этапы деятельности по управлению транспортным средством:

- управление транспортом, т. е. считывание показаний приборов с приборной доски, использование средств управления ТС с учётом дорожных знаков, погодных условий, дорожного покрытия, интенсивности движения транспортного потока и др., – решающее значение приобретают *внимание, восприятие, ощущения*;
- приём и переработка оперативной информации, т. е. анализ оперативной обстановки на дороге, – *память и мышление*;
- принятие решения – *мышление и воля*;
- реализация решения осуществляется в форме внешней (практической) деятельности и проявляется через воздействия водителя на органы управления, эффективность этого этапа определяется степенью сформированности у водителя *двигательных навыков*, способностью *координированно*, с определёнными усилиями воздействовать на органы управления;

– контроль за выполнением действий – решающее значение имеет *мышление* водителя, которое в данном случае проявляется в способности *анализировать результаты действия и принимать решение* о необходимости осуществления корректирующих воздействий.

Исходя из вышесказанного можно выделить профессионально важные качества и способы их оценки: уровень восприятия скорости и расстояния, распределение внимания, концентрация внимания, сложная зрительно-моторная реакция, оценка эмоциональной устойчивости, проба на моторную согласованность, оценка глазомера, оценка склонности к риску, оценка бдительности, оценка переключения внимания и помехоустойчивости, оценка монотонноустойчивости.

Нейробиоуправление в психофизиологическом обеспечении функциональной и профессиональной надёжности оперативного персонала технических систем «человек – машина» и опасных производств. В этой области существует ряд задач, которые требуют решения: методы оценки рисков снижения безопасности производства (профессиональной надёжности) в связи с неудовлетворительным функциональным состоянием и здоровьем лиц опасных профессий, а также способы управления функциональным состоянием работников, а в итоге надёжностью их деятельности и профессиональным здоровьем.

Психофизиологическое обеспечение деятельности лиц опасных профессий делится на несколько этапов:

- тестовый (отбор, периодический контроль);
- тренировочный (подготовка);
- коррекционный;
- восстановительный (реабилитационный).

Цель *тестового этапа* – выявить психофизиологические особенности реагирования на стресс для составления индивидуальной программы тренинга.

В Институте молекулярной биологии и биофизики в 1998–2015 гг. разработана технология игрового биоуправления. Данная технология применяется при диагностике стратегий саморегуляции и стрессоустойчивости, профилактике стресс-зависимых расстройств, коррекции эмоционального состояния, тренинге оптимального функционирования и т. п.

Биоуправление прививает оператору ТС навыки самоэффективности, интернальности, редуцирует чувство беспомощности и безысходности.

Метод нейробиоуправления, основанный на принципе адаптивной обратной связи (альфа-тренинг) и традициях бихевиоральной психологии, позволяет корректировать эмоциональные расстройства.

Находясь в контуре биообратной связи, человек способствует увеличению биоэлектрической активности в альфа-диапазоне, где отмечено её снижение. Это приводит к подавлению внутренней тревоги, росту психологического комфорта.

Метод НБУ также способствует развитию профессионально важных качеств, таких как характеристики внимания и памяти (гибкость, скорость), пространственно-временная координация, координационно-двигательное взаимодействие, повышение стрессоустойчивости.

Применение БОС-систем высокого риска. К БОС-системам высокого риска можно отнести систему контроля усталости водителя и систему распознавания сонливости за рулём.

Причиной примерно 25 % всех серьёзных аварий на дорогах является усталость водителя и, как следствие, засыпание за рулём. Наибольший риск засыпания наблюдается в дальних поездках, особенно в тёмное время суток и при монотонных дорожных условиях. Практика показывает, что через четыре часа непрерывного вождения реакция водителя снижается в два раза, через восемь часов – в шесть раз.

Система контроля усталости следит за физическим состоянием водителя и если фиксирует определённые отклонения, предупреждает водителя о необходимости остановки и отдыха. В зависимости от способа оценки усталости водителя различают три типа систем. Первые построены на контроле действий водителя, вторые – на контроле движения автомобиля, третьи – на контроле взгляда водителя.

Mercedes-Benz с 2011 г. устанавливает на своих автомобилях систему *Attention Assist*, в которой контроль усталости водителя основан на многих факторах: манере езды, поведении за рулём, использовании органов управления, характере и условиях движения и др.

Конструктивно система *Attention Assist* состоит из датчика рулевого колеса, блока управления, сигнальной лампы и звукового сигнала оповещения водителя. Датчик рулевого колеса фиксирует динамику вращений рулевого колеса водителем. В системе используются также сигналы от датчиков других систем, которые контролируют управление двигателем, курсовую устойчивость, ночное видение, тормозную систему.

Блок управления осуществляет обработку входных сигналов и определение следующих параметров:

- стиль вождения (анализируются скорость, продольное и боковое ускорение на протяжении 30 мин после начала движения);
- условия вождения (анализируются время суток, продолжительность поездки);
- использование органов управления (анализируются использование тормоза, подрулевых переключателей, кнопок на панели управления);
- характер вращения рулевого колеса (анализируются скорость, ускорение);
- состояние дорожного полотна (анализируется боковое ускорение);
- характер движения автомобиля (анализируются продольное и боковое ускорение).

Проводится математическая обработка полученных сигналов датчиков и по её результатам выявляются отклонения в действиях водителя и в траектории движения автомобиля. На дисплей приборной панели выводится сигнальный текст о необходимости перерыва в движении и подаются звуковые сигналы. Если после первых сигналов водитель не делает остановку, а движение в дремотном состоянии продолжается, система производит повторные сигналы с интервалом в 15 мин. Активация системы происходит на скорости 80 км/ч.

Современные автотранспортные средства могут оснащаться и различными вспомогательными системами активной безопасности (*системы – ассистенты водителя*), к числу которых относятся:

- адаптивный круиз-контроль;
- система помощи движению по полосе;
- система помощи при перестроении;
- система кругового обзора;
- парковочная система;
- система помощи при подъёме;
- система помощи при спуске;
- система распознавания дорожных знаков;
- система аварийного рулевого управления;
- система ночного видения;
- система интеллектуального управления фарами и др.

11. Технологии биологической обратной связи в обеспечении безопасности функционирования транспортных систем «человек – машина»

Интеллектуальные системы помощи водителю: разработка, исследование, сертификация. Наиболее известная классификация уровня автоматизации автомобиля разработана при участии сообщества автомобильных инженеров (стандарт *SAE J3016*). В ней имеется 6 уровней [22]:

– 0-й уровень (без автоматизации): отсутствует автоматический контроль над автомобилем, но возможно присутствие системы уведомлений, осуществление всего процесса управления обеспечивает водитель;

– 1-й уровень (с включением помощи водителю): управление осуществляется преимущественно водителем, в основном на борту транспортного средства устанавливаются современные системы содействия водителю (СССВ), которые помогают ему управлять рулевой и тормозной системами, используя информацию о внешней среде; системы работают в автоматическом режиме, но могут быть отключены водителем;

– 2-й уровень (частичная автоматизация): водитель прилагает усилия, если СССВ не смогла в автоматическом режиме решить задачу самостоятельно; в число одновременно выполняемых СССВ функций входят ускорение, торможение и руление, но водитель может отключить СССВ;

– 3-й уровень (условная автоматизация): водителю не обязательно осуществлять контроль автомобиля на некоторых типах дорог (например, на автобанах), но он обязан быть готов управлять им вручную при изменении ситуационной обстановки или при остановке транспортного средства системой из-за отсутствия реакции водителя на оповещение;

– 4-й уровень (высокая автоматизация): аналогичен 3-му уровню, но контроль со стороны водителя на нём уже не требуется, и система реализует все свои функции, которые допустимы при конкретных внешних условиях движения;

– 5-й уровень (полная автоматизация): все действия водителя сводятся к указанию на начало движения и определению конечного пункта назначения.

Практика показывает, что уровень автоматизации автотранспорта при разработке новых моделей неуклонно возрастает. Технологии развиваются от простых систем поддержки, которые позволяют водителю осуществлять управление автомобилем в более комфортных условиях, к системам, которые в той или иной степени способны корректировать функции управления и принимать решения в сложных ситуациях. Это приводит к тому, что увеличивается количество параметров, контролируемых в автоматическом режиме, повышаются скорости обработки получаемой информации, усложняются элементная база используемых бортовых компьютерных систем и их программное обеспечение. Как следствие этого процесса, возрастает доля затрат, связанных с компьютерными компонентами и программным обеспечением в разрабатываемых и выпускаемых моделях автомобильной техники (рис. 9).

Тренд изменения соотношения технической и программной части в автомобильной технике

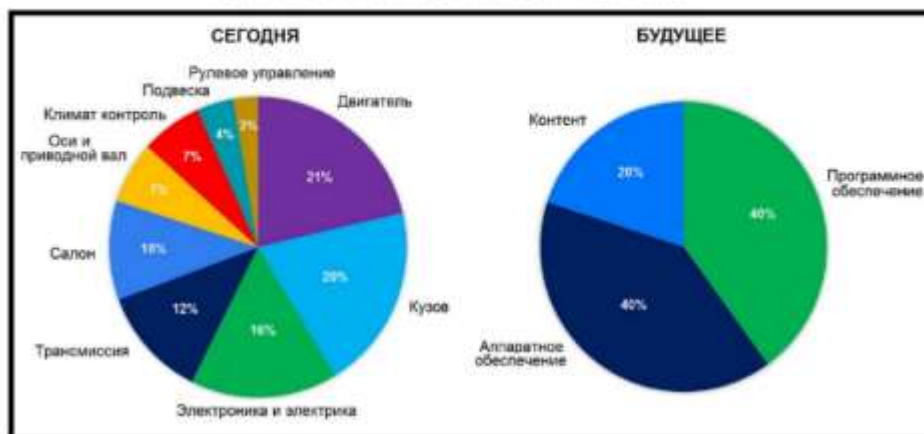


Рис. 9. Рост удельного веса программного обеспечения в структуре стоимости автомобилей

Классификация методов мониторинга усталости водителя. Существуют различные методы, которые позволяют определить, присутствуют ли предвестники сна и глубокая релаксация водителя автомобиля. Основные методы, на которых базируются многие системы мониторинга усталости водителя, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Методы для определения наличия предвестников сна и глубокой релаксации водителей автомобилей

Технология	Вероятность опасного отказа, p
Изменение «почерка» вождения	0,3
Рациональные действия	0,3
Пульс	0,3
Поза (тонус мышц)	0,2
Направление взгляда	0,2
Наклоны головы (тонус мышц)	0,1
Речь	0,1
Окулограмма	0,05
Моргания	0,02
Микросаккады (потенциально)	0,001
ЭДА (47 млн чел·ч без аварий)	0,0001

Примечание. ЭДА – электродермальная активность.

Система контроля усталости водителя. Развитие систем контроля усталости водителя третьего типа базируется на оснащении транспортных средств различными видами биометрических датчиков, которые позволяют отслеживать важные для здоровья показатели (пульс, частоту дыхания, величину проводимости кожи и др.). В компании *Ford* разрабатывается система оценки нагрузки водителя, предназначенная для уменьшения рассеянности и чрезмерного напряжения. Оценку физического напряжения водителя проводят, учитывая множество параметров:

- движение транспортного средства (оценивается по скорости, продольному и поперечному ускорению, скорости рыскания);
- действия водителя (оцениваются по углам поворота рулевого колеса, положению педалей акселератора и тормоза);
- дорожные условия (оцениваются по плотности потока, характеру дорожного покрытия);
- биометрические показатели (оцениваются по сердечному ритму, частоте дыхания, температуре кожи).

При достаточно высокой нагрузке на водителя системой принимаются меры по снижению напряжения, одной из которых является автоматический запуск

функции, позволяющей блокировать мобильный телефон от входящих звонков (функция «Не беспокоить»).

Система оценки нагрузки водителя использует данные, поступающие от следующих биометрических датчиков:

- пьезоэлектрический датчик в ремне безопасности для мониторинга частоты дыхания;
- проводящие накладки на ободе рулевого колеса, измеряющие пульс;
- инфракрасные датчики на ободе рулевого колеса, позволяющие измерять температуру ладоней;
- инфракрасный датчик за рулевым колесом, контролирующий температуру лица.

Компанией *Ferrari* запатентована технология, позволяющая проводить оценку уровня напряжения водителя по изменению биоэлектрической активности мозга, для измерения которой используют беспроводные датчики, встроенные в подголовник водительского сиденья. Система, реагируя на состояние водителя, способна уменьшать подачу топлива в двигатель и автоматически стабилизировать автомобиль.

В компании *General Motors* оценку усталости проводят, контролируя взгляд водителя. В качестве основы используют технологию *Seeing Machines*, которая нашла применение в таких областях, как авиация, железнодорожный транспорт, карьерные работы, коммерческий грузовой транспорт. С помощью специального блока проводят контроль степени открытия глаз и направления взгляда водителя. Когда система распознаёт невнимательность, усталость или сонливость водителя, она даёт предупреждение о необходимости остановки (рис. 10).



Рис. 10. Системы отслеживания состояния глаз водителя при помощи камеры

Следует отметить, что работа подобных систем в ряде случаев может быть некорректной. Для устранения ложных срабатываний и усовершенствования системы слежения за усталостью водителя в компании *Volvo* разработана система, использующая датчики инфракрасного света. Интегрированные в приборную па-

нель датчики позволят определить направление взгляда водителя, положение и наклон головы и то, насколько широко открыты его глаза.

Предлагается также использовать биометрические датчики, чтобы контролировать физическое состояние пожилых водителей, число которых в развитых странах неуклонно растёт, и водителей с хроническими заболеваниями. Компания *Ford* предлагает вести контроль состояния возрастных водителей при помощи датчиков сердечного ритма, встроенных в сиденье. Используя технологию электрокардиограммы, система может вести мониторинг сердечных электрических импульсов и своевременно определять нарушения (например, возникновение сердечного приступа), а также симптомы иных заболеваний (например, повышение давления).

В компании *Toyota* контроль жизненно важных показателей осуществляют с помощью датчиков, вмонтированных в обод рулевого колеса: электродов для мониторинга сердечного ритма и оптических датчиков, позволяющих оценивать проводимость ладоней. Предусмотрена прямая связь системы контроля состояния водителя и системы экстренного торможения, что обеспечивает возможность остановки автомобиля при сердечном приступе, а подключенная к ним навигационная система может автоматически проложить маршрут до ближайшей больницы. Система способна выявить наступление сердечного приступа уже на ранних стадиях и тем самым предотвратить аварию.

Компания *BMW* работает над технологией предупреждения водителей, больных диабетом, о повышении уровня сахара в крови. Устройство для измерения уровня сахара в крови подключено к смартфону, который соединён через *Bluetooth* с мультимедийной системой автомобиля. На экран системы выводится информация, предупреждающая водителя об опасности потери сознания из-за повышенного уровня сахара в крови. В перспективе измеряемые параметры могут автоматически передаваться лечащему врачу водителя.

Активно внедряются системы безопасности, основанные на использовании БОС-методов, и на железнодорожном транспорте. В последнее десятилетие в РФ происходит повсеместное внедрение телемеханической системы контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ). Она предназначена для контроля и индикации уровня бодрствования машиниста по условной шкале. Система также может включать экстренное торможение при переходе машиниста из состояния активного бодрствования в предремотное состояние. Система реагирует на различные состояния машиниста, такие как психическая релаксация, потеря сознания и ряд иных. Система ТСКБМ вычленяет фазовые импульсы электросопротивления кожи и измеряет интервал времени между двумя соседними импульсами. При этом функцию индикатора выполняют часы, в которые встроен передатчик, обеспечивающий обмен информацией путём приёма импульсов на частотах 1675–1725 МГц.

Система ТСКБМ позволяет:

- 1) измерять и преобразовывать в цифровой сигнал величину относительного изменения сопротивления участка кожи человека, измеряемого с помощью двух электродов датчика электросопротивления кожи (ЭСК), который встроен в браслет носимого прибора (ТСКБМ-Н), надеваемого на руку машиниста;
- 2) передавать цифровой код по радиоканалу;
- 3) принимать радиосигнал, имеющий произвольную поляризацию радиоволн, от устройства ТСКБМ-Н и производить его демодуляцию;
- 4) выделять из входного цифрового потока данных импульсы кожной гальванической реакции (КГР) и преобразовывать интервал между импульсами в показатель уровня бодрствования, используя условную шкалу;
- 5) подавать звуковой сигнал ЭПК автостопа при снижении уровня бодрствования машиниста ниже критического и прибегать к экстренному торможению состава, если не происходит восстановления работоспособности машиниста.

Система ТСКБМ (рис. 11) состоит из трёх основных компонентов:

- 1) прибора ТСКБМ-Н – носимого телеметрического датчика в виде часов, который крепится на запястье машиниста;
- 2) прибора ТСКБМ-П, включающего приёмник сигналов телеметрического датчика и устройство индикации, который устанавливают в кабине локомотива;
- 3) блока ТСКБМ-К – контроллера системы, размещаемого в таком месте кабины локомотива, которое позволяет проводить включение и выключение системы.

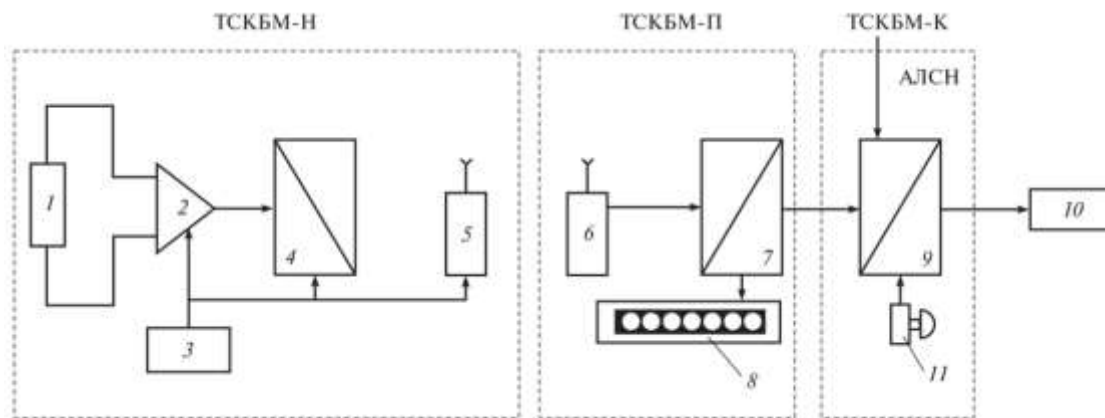


Рис. 11. Схема ТСКБМ

На рис. 11: 1 – датчик сопротивления кожи; 2 – усилитель сигнала; 3 – источник питания; 4 – блок преобразования и кодирования сигнала; 5 – передающее устройство; 6 – приёмное устройство; 7 – блок преобразования и обработки сигнала; 8 – индикатор светодиодный; 9 – микроконтроллер; 10 – клапан ЭПК; 11 – ручка бдительности между эталонными импульсами КГР, имеющими типичные параметры (шкала условного уровня бодрствования имеет от 10 до 15 градаций).

Потеря работоспособности машиниста не связана однозначно с критическим уровнем его бодрствования. Когда уровень бодрствования снижается, возникает сигнал кожной гальванической реакции, представляющий собой кратковременное возрастание проводимости кожи и последующее за этим возвращение к прежнему уровню. Временной интервал между импульсами КГР – это показатель уровня бодрствования, при снижении которого этот интервал увеличивается.

Контроллер ТСКБМ-К выделяет импульсы КГР из входного цифрового потока данных и преобразовывает интервал между импульсами в условное значение уровня бодрствования. Калибровка шкалы, отображающей уровень бодрствования, производится по интервалам.

Комплекты ТСКБМ поставляются в локомотивные депо в рамках государственной программы по повышению безопасности движения на железнодорожном транспорте. Опыт эксплуатации более 2000 локомотивов с ТСКМБ на протяжении многих лет показал высокую эффективность систем. Из почти 6000 машинистов, использующих ТСКМБ, ни один не допустил ЧП в работе вследствие потери бдительности. Техническая надёжность системы составляет 0,8 отказа на один миллион километров пробега локомотива.

12. Перспективы развития технологий нейробиоуправления состоянием человека

Психофизиологическое и общетерапевтическое направление, каким является биоуправление, находится на подъёме. Перспективы его развития обеспечиваются особенностями многопараметрического мониторинга, лежащего в основе биоуправления, наличием гибких математических моделей и развивающихся алгоритмов оценки данных.

В последние годы технология приобрела чрезвычайное разнообразие, намечаются новые точки роста, такие как использование БОС по концентрации углекислоты в выдыхаемом воздухе при гипервентиляционном синдроме, различные игровые варианты БОС-тренинга.

Получают неожиданное развитие, казалось бы, давно забытые модификации биоуправления (ЭЭГ-БОС-тренинг в сочетании с многоканальным картированием). Есть веские основания полагать, что практическое здравоохранение и медицинская наука приобрели новый эффективный немедикаментозный метод лечения и профилактики.

Биоуправление развилось в целый комплекс, включающий идеи, методы и технологии, которые базируются на принципах БОС, предназначенный для развития и совершенствования механизмов саморегуляции физиологических функций пациента для купирования того или иного патологического состояния или для достижения личностного роста.

Возможность получения пациентом во время процедуры биоуправления информации о параметрах различных физиологических процессов, которую предоставляет внешняя обратная связь, чаще всего реализуемая с помощью компьютерных технологий, даёт возможность испытуемому освоить контроль выбранных физиологических параметров и закрепить эти навыки с целью дальнейшего их использования в повседневной жизни.

Основой технологии биоуправления являются кибернетические подходы к механизмам регуляции и управления различными системами с использованием обратной связи. Однако ещё совсем недавно упоминание в медицинской среде о новых компьютерных лечебных технологиях, основанных на принципе БОС, вызывало если не раздражение и активное неприятие, то скепсис и равнодушие, а исследования, связанные с этой проблемой, оставались в стенах научных лабораторий.

Замечания о том, что никакая машина не в состоянии заменить душевное тепло, эмоциональную вовлечённость и заинтересованность в здоровье пациента, которые может дать только врач, безусловно, верны.

Терапевтический альянс «врач – пациент» является одним из главных составляющих, обеспечивающих лечебный эффект, ускоряющий процесс выздоровления.

Однако врач любой специальности, будь то психотерапевт, невролог или оперирующий хирург, может с сожалением констатировать, насколько трудно порой бывает привлечь к процессу реабилитации и лечения самого пациента, заставить его использовать собственный волевой потенциал.

Как показали научные и клинические исследования последних 10 лет, методы биоуправления великолепно решают эти задачи. Компьютерное биоуправление в клинике становится не просто популярным, оно переживает настоящий бум. Об этом может свидетельствовать резкое увеличение числа научных публикаций по данной проблеме: появляются новые лечебные и реабилитационные приложения (параметры, по которым проводится биоуправление), расширяется диапазон заболеваний и состояний, при которых метод оказывается весьма эффективным; проводятся научные исследования, позволяющие создать теоретическую базу биоуправления [23].

Области клинического применения. Варианты биоуправления. В настоящее время основными областями применения метода биоуправления в ряде стран Западной Европы, США и Японии являются медицина, спорт и образование. Он активно используется в различных научно-исследовательских и клинических институтах России, однако реализация его клинического потенциала далека от оптимума.

Имеются примеры эффективного применения метода при лечении гипертонической болезни, болезни Рейно, последствий травм. Метод позволяет также лечить тревожные состояния, фобии, расстройства внимания, гиперактивность у детей, посттравматические стрессовые расстройства и многие другие патологиче-

ские состояния, которые в первую очередь связаны с нарушением центральных механизмов регуляции физиологических функций.

С каждым годом увеличивается количество модификаций биоуправления (видов регулируемых в процессе БОС-тренинга параметров).

Наиболее часто в литературе по биоуправлению встречаются указания на следующие виды применения [24]:

- электромиографическая БОС (ЭМГ-БОС), которая используется в основном при лечении двигательных нарушений и релаксационном тренинге;
- БОС по температуре и кожно-гальванической реакции, позволяющая усиливать кровоснабжение различных участков тела;
- электроэнцефалографическая БОС (ЭЭГ-БОС);
- БОС по респираторным показателям, которая успешно используется при лечении гипервентиляционного синдрома и бронхиальной астмы;
- мультипараметрическая БОС;
- БОС-терапия с использованием стресс-нагрузок и психотерапевтических техник.

Методику БОС-тренинга применяют для изменения степени концентрации внимания, контроля уровня эмоционального возбуждения, лечения аддиктивных расстройств.

Биоуправление в клинической практике. Наиболее широко биоуправление применяют в клинике пограничных, психосоматических расстройств и для лечения большой группы органических заболеваний нервной системы. Уникальность БОС-тренинга состоит в том, что этот метод стимулирует развитие процессов висцеральной перцепции, тонкое дифференцирование внутренних ощущений, эмоций. Важная предпосылка успешного освоения метода биоуправления – научиться осознавать сигналы организма. Метод биоуправления можно использовать как самостоятельную психотерапевтическую методику, а также как эффективный инструмент, с помощью которого врач может получить более выраженный и стойкий терапевтический эффект в психотерапевтическом контексте.

БОС в клинике нервных болезней. Показана высокая эффективность методов биоуправления по электромиограмме при лечении таких патологий, как постинсультные гемипарезы, повреждения спинного мозга, детский церебральный паралич, спастическая кривошея, невралгия лицевого нерва. ЭЭГ-БОС-тренинг не без успеха используют при лечении эпилепсии. Однако основным применением биоуправления в клинике многими исследователями считается использование БОС-тренинга при терапии головных болей и в первую очередь головной боли напряжения (мигрени).

БОС-терапия при головной боли. Головная боль – наиболее часто встречающийся симптом, присущий невротическим, неврозоподобным и аффективным расстройствам. При лечении мигрени наиболее эффективным считается темпера-

турный БОС-тренинг. Как известно, при стрессовой реакции происходит централизация кровообращения, «перекачивание» крови к жизненно важным органам, повышение АД, ускорение кровотока, снижение притока крови к конечностям и спазм периферических сосудов.

Таким образом, снижение температуры рук является сигналом о начале стресса, а выработка способности произвольно контролировать температуру кончиков пальцев конечностей – это эффективный способ расширения сосудов конечностей, снижения АД, повышения периферического сопротивления и в конечном счете предотвращения развития психоэмоционального напряжения или же снижения его уровня.

Тренировка по повышению температуры рук позволяет снизить симпатическую активацию, вызвать физиологические сдвиги, способствующие прерыванию начавшегося болевого приступа. Анализируя переживания, образы, возникающие во время тренинга, пациент начинает понимать их роль в провоцировании болевых ощущений и предупреждать их возникновение [24].

При головной боли напряжения эффективен ЭМГ-БОС-тренинг. Мышечная активность изменяется в широких пределах, но человек чётко осознает только мышечное напряжение, связанное с движением, а высокий мышечный тонус, вызванный психоэмоциональным напряжением, часто остается ниже порога восприятия и человеком не идентифицируется.

Предоставление пациенту информации об электрической активности мышечных волокон позволяет ему наглядно увидеть степень его психической дезадаптированности. В то же время подобная информация даёт ему возможность, понизив мышечную активность, добиться состояния релаксации при одновременном снижении сопутствующих стрессу высоких показателей ЧСС, АД, ритма дыхания, что способствует улучшению психического состояния.

Особенно эффективный ЭМГ-БОС-тренинг при психоэмоциональном напряжении – это биоуправление по миограмме фронтальных мышц, наименее подверженных контролю сознанием в сравнении с другими мышечными группами. Исследования показали, что не всегда боль начинается сразу, в момент напряжения мышц, и проходит после расслабления.

Связь может быть более сложной и продолжительной. Даже при незначительном мышечном напряжении, не превышающем обычные колебания, могут высвободиться биологически активные вещества, что провоцирует усиление головной боли. Надо также учитывать, что близлежащие крупные мышцы, например трапецевидные, могут вносить свой вклад. Показано, что среди пациентов с головной болью напряжения можно выделить группу лиц, у которых напряжение мышц предшествует возникновению головной боли.

По данным ряда исследований, сочетание температурного и миографического биоуправления с психотерапевтическими методами при лечении головной боли напряжения и мигрени значительно повышает эффективность воздействия.

БОС-тренинг при лечении пациентов с двигательными нарушениями после спинальной травмы. Повреждения спинного мозга традиционно считаются расстройствами, имеющими пессимистический прогноз, который с течением времени ухудшается.

Впервые результаты успешного применения методов биоуправления при спинальной травме были опубликованы в 70-х гг. XX в. и относились к случаям, когда был достигнут хороший клинический эффект у пациентов с повреждением шейного отдела позвоночника и спинного мозга. Б. Брукер и Н. Булаева изучали эффективность БОС для пациентов со спинальной травмой. В исследовании приняли участие 100 пациентов с квадриплегией. Время, прошедшее после травмы, составляло от 1 года до 29,7 лет. Установлено, что БОС может существенно повысить волевой ЭМГ-ответ определённых мышечных групп ниже уровня повреждения.

Было также установлено, что эффективность методики БОС у пациентов со спинальной травмой не зависит от таких факторов, как длительность периода, прошедшего после травмы, начальное мышечное напряжение и функция или начальный волевой контроль ЭМГ-ответа.

Для многих пациентов с начальным отсутствием ЭМГ-ответа была установлена способность его достижения с помощью БОС-тренинга. При этом рост величины ЭМГ-ответа был весьма значительным – от 20 до 40 %. Таким образом, ЭМГ-БОС-тренинг является весьма перспективным для использования в системе реабилитации пациентов с последствиями спинальной травмы [24].

БОС-тренинг у пациентов с последствиями инсульта. Ещё одно перспективное направление применения метода БОС-тренинга – его использование в программе реабилитации людей, перенёсших инсульт. Важную роль в клинической картине постинсультных двигательных нарушений играют расстройства психофизиологических механизмов управления движениями.

В лечении двигательных нарушений наиболее активно используется биоуправление по электромиограмме. Цель обучения по электромиограмме пациентов с постинсультными гемипарезами – повысить произвольную мышечную активность паретичных мышечных групп, а также улучшить произвольный контроль патологических содружественных движений (координаторных синкинезий).

По данным Л. А. Черниковой и Е. М. Шапиной, в результате обучения подавляющему числу пациентов удаётся увеличить средний показатель объёма активных движений и заметно уменьшить степень пареза, а также увеличить амплитуду электроактивности произвольного сокращения в паретичных мышцах.

Высокую эффективность данный метод продемонстрировал и при лечении гиперкинетического синдрома. Известно, что для пациентов с постинсультными

гемипарезами характерна асимметрия вертикальной позы, при которой центр тяжести тела смещается в сторону здоровой ноги. С целью коррекции данного недостатка, повышающего риск падения, был предложен оригинальный метод баланс-биотренинга, для реализации которого используется стабиллографический комплекс, регистрирующий текущие координаты проекции центра тела по реакциям трёх опор и отображающий стабиллограммы на экране монитора.

Результаты исследований, проведённых на многочисленном контингенте пациентов, установили эффективность баланс-терапии для тренировки функции равновесия у пациентов с постинсультными гемипарезами.

БОС при гипертонической болезни. Развитие гипертонической болезни провоцируется хроническим психоэмоциональным напряжением, которое во многих случаях связано с невротическим сверхконтролем, подавлением отрицательных эмоций (страх, враждебность), неадекватным уровнем притязаний, отсутствием чувства безопасности, невозможностью расслабиться.

Необходимость релаксационной терапии при гипертонической болезни диктуется тем, что состояние релаксации сопровождается снижением уровня АД, ЧСС, частоты дыхания, уменьшением потребления кислорода, электрической активности мышц, развитием физиологических реакций, противоположных тем, которые возникают при стрессе.

Обучение релаксации под контролем БОС пациентов с гипертонической болезнью даёт возможность улучшить гемодинамические показатели и отменить гипотензивные препараты (диуретики) в начальной гиперкинетической стадии заболевания, когда повышен сердечный выброс при нормальном периферическом тоне сосудов. Большинство исследователей отмечают большую эффективность «косвенных» модификаций БОС-тренинга (биоуправление по температуре тела, электромиограмме, времени распространения пульсовой волны, электродерматограмме) по сравнению с «прямым» биоуправлением, о чём свидетельствуют клинические наблюдения последних 10 лет.

Эти методы охватывают более широкий, спектр вегетососудистых расстройств, чем используемое раннее «прямое» биоуправление. При лечении гипертонии большинство исследователей считают наиболее эффективным сочетание температурного и ЭМГ-биоуправления [24].

БОС-терапия в психиатрической и психотерапевтической практике. Возможное использование биоуправления в области психиатрии и психотерапии изучено слабее в сравнении с другими областями медицины (терапией, неврологией, психосоматической медициной).

Публикаций по этой тематике немного, хотя в последние годы их число растёт. В психотерапевтической практике метод биоуправления преимущественно используют для лечения невротических (фобических расстройств, навязчивых состояний), тревожных, аддиктивных нарушений. В детской психиатрии положи-

тельный эффект БОС-тренинга наблюдается при лечении расстройств, связанных с дефицитом внимания и гиперактивностью.

На эффективность метода биоуправления в психотерапии влияют многие «неспецифические» факторы, такие как особенности личности пациента, компетентность психотерапевта, формирование психотерапевтического альянса «врач – пациент», а также применение совместно с БОС-тренингом дополнительных методов.

При этом возникают проблемы, связанные с вычлениением «активного начала» биоуправления и действием т. н. плацебо-эффектов при попытках оценить эффективность БОС-терапии. Удачную попытку проанализировать роль плацебо-эффекта и вычлениить «активное начало» биоуправления предпринял А. Б. Скок, исследуя эффективность использования α - θ -тренинга для лечения пациентов с алкогольной и наркотической зависимостью.

БОС при лечении депрессивных расстройств. Количество указаний на применение БОС-тренинга при лечении дисцимических расстройств и депрессий в литературе также очень невелико. Однако именно при терапии этих расстройств с учётом их этиологии, особенностей поведенческих реакций и личностных черт депрессивных пациентов биоуправление как направление бихевиоральной медицины может оказаться наиболее эффективным.

Метод биоуправления, основными принципами которого являются самоэффективность и автономность, способствующие развитию эмоциональной независимости, осознанию волевого потенциала, повышению самооценки, развитию волевых качеств, имеет большие перспективы в лечении депрессивных и дистимических расстройств. БОС-тренинг даёт возможность психотерапевту создать благоприятный фон для получения пациентом «положительного подкрепления», что служит важным условием лечения этих расстройств.

Метод биоуправления способствует выявлению неосознанных пессимистических установок, когнитивных искажений, создаёт условия для понимания их связи с негативным эмоциональным фоном и соматическим неблагополучием.

Эффективность биоуправления при терапии этих нарушений связана и с высокой частотой психосоматических расстройств, выступающих как сочетанная с аффективными нарушениями патология.

Электроэнцефалографическое биоуправление. Особое внимание и оживлённые дискуссии в научной среде в последние 30 лет вызваны вопросами, связанными с использованием БОС по электроэнцефалограмме и с природой и эффектами ЭЭГ-БОС [25].

В клинической медицине применение методов ЭЭГ-БОС в настоящее время развивается по четырём основным направлениям:

1) ЭЭГ-БОС по медленным корковым потенциалам для улучшения оперативных функций интеллекта и для лечения эпилепсии;

- 2) *SMR*-тренинг для лечения эпилепсии;
- 3) α -0-тренинг в наркологической практике;
- 4) β -тренинг в педиатрической практике.

К медленным корковым потенциалам относят ЭЭГ-волны, имеющие очень низкие частоты (менее 1 Гц). Негативные эпизоды на электроэнцефалограмме длительностью более 300 мс вызывают возбуждение или активацию (деполяризацию) апикальных дендритов. Наиболее важным является наличие корреляции между негативными ЭЭГ-сдвигами и сокращением времени реакции на сигнал, а также улучшением краткосрочной памяти. С помощью волевого контроля за МКП можно добиться уменьшения частоты судорожных припадков и снижения их интенсивности.

БОС в *SMR*-диапазоне используется в двух направлениях:

- 1) для коррекции судорожных расстройств;
- 2) для лечения синдрома гиперактивности у детей.

В последнем случае *SMR*-тренинг используется в сочетании с β -стимулирующим тренингом. Явление *SMR*-активности было впервые описано на экспериментальных животных, которых можно быстро обучить тому, как вызывать изменение своей биоэлектрической активности в этом диапазоне. В свою очередь, при таком изменении активности в данном диапазоне происходит рост толерантности к химическим агентам, вызывающим судороги.

Долгое время α -тренинг оставался самым спорным методом из группы ЭЭГ-БОС. Диапазон оценок эффективности метода варьирует от крайне низких до полностью оптимистичных. Ситуация начала меняться после появления работ, в которых исследовалась раздельная стимуляция α -активности в левом и правом полушариях. В результате раздельного α -тренинга изменяется не текущее эмоциональное состояние, а способность отвечать на позитивные и негативные эмоциональные стимулы.

Одной из наиболее полно изученных областей применения ЭЭГ-БОС является β -стимулирующая БОС. β -стимулирующий тренинг активно используют при терапии широко распространённой патологии детского возраста – синдрома дефицита внимания и гиперактивности.

Использование БОС по β -ритму основано на нейробиологических особенностях этого состояния. Медленные ЭЭГ-паттерны, которые обнаруживают в центральных и лобных отделах коры, отражают такие патологические изменения, как нарушенный метаболизм, сниженный церебральный кровоток и уменьшение утилизации кислорода.

Изменённая ЭЭГ-активность может быть косвенным свидетельством изменения функции нейротрансмиттеров в этих областях. Предполагается, что БОС, изменяя электроэнцефалограмму, влияет на функции нейротрансмиссии и церебрального метаболизма.

Игры и биоуправление. Для любого обучения, в том числе и обучения саморегуляции в режиме биоуправления, необходимы хорошая мотивация и достаточная эмоциональная вовлечённость обучающегося. Есть ряд причин, которые не позволяют превратить биоуправление в обычную терапевтическую процедуру, подобную, например, физиотерапевтической.

К числу таких причин относят высокие требования к личностным характеристикам пациента (высокий уровень зрелости, низкий невротизм), монотонность и энергоёмкость процедуры, которые требуют от пациента значительных затрат энергии и внутренней дисциплины. Разочарование, которое испытывают многие пациенты при попытке освоения метода, часто являлось источником его дискредитации во врачебной среде. Поиск средств и методов оптимизации процедуры БОС-тренинга позволил создать уникальные «игровые» модификации биоуправления.

Процесс БОС-тренинга вплетается в компьютерный игровой сюжет, развитие которого зависит от динамики физиологического управляемого параметра. При такой модификации тренинга качественно изменяется характер процедуры. Азарт игры увеличивает потенциал достижения оптимального результата. Развитие игровых форм биоуправления оптимально вписывается в современный культурный тренд, что должно обеспечить его широкое распространение не только как серьёзного терапевтического средства, но и как полезного домашнего развлечения.

В России серийно производится программно-аппаратный комплекс «БОС-Пульс» (ООО «КОМ-СИБ»), активно используемый для адаптации учащихся младших классов к школьной жизни. В комплексе имеются разные игровые сюжеты: «Ралли» для тренировки концентрации внимания, «Водолазы» для контроля психоэмоционального состояния, «Магические кубики» для обучения навыкам снижения уровня волнения.

Однако техническая реализация данных игр осуществляется в реальном времени, что связано с конструкцией датчика и многозадачной средой *Windows*. К тому же тренинг в системах «БОС-Пульс» и аналогичных им, но использующих другие модальности параметров БОС, основывается на освоении управления одним выбранным параметром: ЧСС (в «Магических кубиках», «Ралли», «Водолазах»), или амплитудой β -ритма ЭЭГ («Выращивание цветов»), или содержанием углекислого газа в выдыхаемом воздухе («Марсианские войны»). Применение разных модальностей БОС в игровых методиках тренинга позволило расширить арсенал игр, но не оптимизировало параметры воздействия.

Хронобиологические методы, основанные на мультипараметрической БОС, считаются наиболее адекватными способами, позволяющими оптимизировать воздействие при применении любой технологии лечения. Основной причиной этого является структура многочастотных кодов биоуправления физиологическими процессами.

Фундаментальные исследования, проведённые на различных уровнях, от клеточного до организменного, показали, что биологические коды являются многочастотными, а эффективность их зависит от определённого соотношения в сложномодулированном суммарном сигнале. Было также установлено, что одночастотные воздействия могут активно демпфироваться организмом на адресуемом уровне за счёт выше- и нижележащих уровней гомеостатической регуляции.

Таким образом, в настоящее время значительные усилия направлены на разработку программно-управляемых способов управления воздействием с использованием мультипараметрической БОС. Решение этой задачи существенно расширит эффективность лечения и реабилитации различных заболеваний человека при помощи компьютерных игровых технологий.

Список использованных источников

1. Березин, С. Я. Основы кибернетики и управление в биологических и медицинских системах : учеб. пособие / С. Я. Березин. – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 244 с.
2. Психофизиология : учебник для вузов / под ред. Ю. И. Александрова. – СПб. : Питер, 2008. – 496 с.
3. Общие вопросы применения метода БОС : сб. ст. / А. А. Сметанкин [и др.]. – СПб. : ЗАО «Биосвязь», 2008. – 102 с.
4. Анохин, П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П. К. Анохин. – М. : Наука, 1980. – 197 с.
5. Александров, Ю. И. Научение и память: системная перспектива / Ю. И. Александров // Вторые симоновские чтения. – М. : Изд. ИП РАН, 2004. – С. 3–51.
6. Электроэнцефалография: руководство / М. В. Александров [и др.] ; под ред. М. В. Александрова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб. : СпецЛит, 2020. – 224 с.
7. Biofeedback: a Practitioner's Guide / ed. by : M. Schwartz, F. Andrasik : NY – 4th ed. – New York, The Guilford Press, 2016. – 764 p.
8. Биоуправление-4: Теория и практика. – Новосибирск : ЦЭРИС, 2002. – 350 с.
9. Баниэль, А. Дети с неограниченными возможностями / А. Баниэль. – М. : Альпина Диджитал, 2012. – 136 с.
10. Корневский, Н. А. Биотехнические системы медицинского назначения : учебник / Н. А. Корневский, Е. П. Попечителей. – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 688 с.
11. Сметанкин, А. А. Здоровье без лекарств: биологическая обратная связь / А. А. Сметанкин. – СПб. : Рос. ассоц. биол. обрат. связи, 2001. – 68 с.
12. Дубовский, В. А. Стабилометрические методы и средства реабилитации пациентов с нарушенной устойчивостью вертикальной позы / В. А. Дубовский // Докл. БГУИР. – 2016. – № 4. – С. 67–72.
13. Биологическая обратная связь по опорной реакции: методология и терапевтические аспекты / О. В. Кубряк [и др.]. – М. : ИПЦ «Маска», 2015. – 128 с.
14. Кубряк, О. В. Стабилометрия за 2 минуты: интеракт. метод. пособие / О. В. Кубряк, А. И. Мезенчук. – М. : Мера-ТСП, 2022. – 44 с.
15. Попечителей, Е. П. Человек в биотехнической системе : учеб. пособие / Е. П. Попечителей. – Старый Оскол : ТНТ, 2016. – 584 с.
16. Ивановский, Ю. В. Принципы использования метода биологической обратной связи в системе медицинской реабилитации : учеб.-метод. пособие / Ю. В. Ивановский, А. А. Сметанкин. – СПб. : Ин-т БОС, 2003. – 21 с.

17. Кроль, В. М. Психофизиология / В. М. Кроль, М. В. Виха. – М. : КноРус, 2016. – 512 с.
18. Дикая, Л. Г. Психическая саморегуляция функционального состояния человека (системно-деятельный подход) / Л. Г. Дикая. – М. : Ин-т психологии РАН, 2003. – 318 с.
19. Захарьева, Н. Н. Методики с использованием биологической обратной связи в спортивной практике : учеб.-метод. пособие / Н. Н. Захарьева, Е. Г. Сергеева. – М. : ОнтоПринт, 2021. – 62 с.
20. Дорогина, О. И. Нейрофизиология : учеб. пособие / О. И. Дорогина. – Екатеринбург : Изд-во Ур. ун-та, 2019. – 100 с.
21. Андруш, В. Г. Охрана труда : учебник / В. Г. Андруш, Л. Т. Ткачёва, К. Д. Яшин. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Минск : РИПО, 2021. – 334 с.
22. Падерно, П. И. Надёжность и эргономика биотехнических систем / П. И. Падерно, Е. П. Попечителей ; под общ. ред. Е. П. Попечителява. – СПб. : Элмор, 2007. – 264 с.
23. Губарева, Л. И. Психофизиология : учеб. пособие / Л. И. Губарева, Р. О. Будкевич, Е. В. Агаркова. – М. : ВЛАДОС, 2007. – 188 с.
24. Комплекс реабилитационный психофизиологический для тренинга с биологической обратной связью «РЕАКОР» : метод. указания. – Таганрог : Медиком МТД, 2007. – 162 с.
25. Некрич, О. Ю. Практикум по методу «функциональное биоуправление с биологической обратной связью» : учеб.-метод. пособие / О. Ю. Некрич, С. А. Полевая, С. Б. Парин. – Н. Новгород : ННГУ, 2022. – 47 с.
26. Павлов Ю. Г. Эффективность лечения зависимостей методом ЭЭГ-биоуправления / Ю. Г. Павлов // Нац. Психолог. журнал. –2013. – № 2 (10). – С. 80–90.

Учебное издание

Хлудеев Иван Иванович

СИСТЕМЫ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

ПОСОБИЕ

Редактор *А. С. Мигно*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоля*

Подписано в печать 24.10.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,2. Тираж 30 экз. Заказ 7.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск