

Основным источником ошибок является наличие шумов на участках сигнала. На следующем этапе работы планируется принять дополнитель-

ные меры для повышения помехоустойчивости предложенных алгоритмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tong S., Thakor N. V. Quantitative EEG analysis methods and clinical applications. Norwood: Artech House, 2009. 421 p.
2. Bruhn J., Ropcke H., Hoeft A. Approximate entropy as an electroencephalographic measure of anesthetic drug effect during desflurane anesthesia // *Anesthesiology*. 2000. Vol. 92. P. 715–726.
3. Rangayyan. Biomedical signal analysis: a case-study approach. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2002. 552 p.
4. Description of the entropy algorithm as applied in the datex-ohmeda S/5 entropy module / H. Viertio-Oja, V. Maja, M. Sarkela, P. Talja, N. Tenkanen, H. Tolvanen-Laakso, M. Paloheimo, A. Vakkuri, A. Yli-Hankala, P. Merilainen // *Acta Anaesthesiol Scand*. 2004. Vol. 48. P. 154–161.
5. Bein B., Rangaraj M. Entropy // *Best practice & research clinical anaesthesiology*. 2006. Vol. 20, № 1. P. 101–109.
6. Manilo L. A., Volkova S. S. Recognition of the deep anesthesia stage from parameters of the approximated entropy of EEG signal // *Pattern recognition and image analysis. Advances in mathematical theory and applications*. 2013. № 1. P. 92–97.
7. Marple S. L. Digital spectral analysis with application. Englewood Cliffs: NJ Prentice Hall, New Jersey, 1987. 492 p.

A. V. Miganko, A. N. Kalinichenko
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

ESTIMATE OF ANESTHESIA DEPTH BASED ON THE EEG FREQUENCY PROPERTIES

A method for EEG processing based on the analysis of the signal spectrum is proposed. The algorithm was tested with the use of real ECG recordings obtained in the course of surgical operations. The developed algorithm is implemented with the use of software package Matlab. The ways for the further improvement of the algorithm were suggested.

Anesthesia stages recognition, EEG analysis, spectral analysis

УДК 004.891.3,616.155.194

М. К. Ахлаков, М. А. Мунассар
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Активизация регуляторных способностей организма человека информационной обратной связью

Рассматриваются современные технологии управления функциональным состоянием организма человека при лекарственном воздействии в лечебных целях. Разработаны структурные схемы, позволяющие управлять функциональным состоянием при различных заболеваниях с учетом их специфики, описаны основные компоненты системы.

Информационная обратная связь, функциональное состояние, биоуправление, саморегуляция, гомеостаз, афферентация, эфферентация, дозирование лекарственных препаратов

Изучая регуляторные способности организма человека, мы приходим к пониманию принципов функционирования и взаимодействия самых сложных биологических систем, важнейшими при этом являются нервная и эндокринная системы.

Как известно [1], все психические явления выступают производными физических и химических процессов, происходящих в организме человека. Зная эти процессы, можно осознанно управлять лечебным процессом и восстановлением

функционального состояния (ФС) организма человека, используя ресурсы мозга.

Одним из альтернативных подходов к проведению лечебных процессов, восстановлению ФС организма, повышению уровня здоровья человека является интеграция его психических и физических возможностей путем использования современных информационных технологий. В этом смысле перспективно развитие управления ФС организма человека с использованием информационной обратной связи (ИОС) – одного из современных направлений психофизиологии. В ранних публикациях такой метод управления ФС организма рассматривался больше как биологическая обратная связь (БОС) [2], [3], но с развитием техники и технологий и появлением новых контуров обратных связей используют понятие ИОС [4]. Этот метод, зародившийся на стыке медицины, биологии и техники, в настоящее время представляет собой успешно развивающееся направление науки и практики, уже получившее международное признание. Здесь необходимо рассмотреть теории, которые касаются переработки информации, поступающей в центральную нервную систему (ЦНС) от органов чувств, где происходят психофизические и биохимические процессы, которые регистрируются с помощью технических средств, обрабатываются и предъявляют текущую информацию в кодированном виде как пациенту, так и оператору (имеется в виду медперсонал).

Информационная обратная связь – это дополнительные каналы информации о вегетативных функциях и управление этими функциями на основе полученной информации с помощью технических средств [4].

Фундаментальная база метода БОС в России была создана П. Н. Анохиным (теория функциональных систем) [2], К. М. Быковым (теория кортико-висцеральных связей) и В. Н. Черниговским [5].

Представление об обратной связи в биологических системах сформировалось с появлением неклассической научной картины мира. Бытовавшая до этого (классическая) картина мира носила механистический характер, т. е. описывалась элементарным отношением «стимул–ответ». В соответствии с этой картиной построена ньютоновская механика, условно-рефлекторная теория, в частности бихевиористская теория [2]. Согласно новой, неклассической картине, отдельные простые системы объединяются в сложные – способные к саморегуляции за счет функционирования положительных, отрицательных и совмещенных (поочередно положительных и отрицательных в зависимости от функционального состояния организма) обратных связей. В частности, к саморегуляции способны «биологические» системы, например экосистемы, равновесие в которых достигается за счет изменения численности особей определенного вида. Оптимальный гормональный статус организма человека достигается за счет измене-

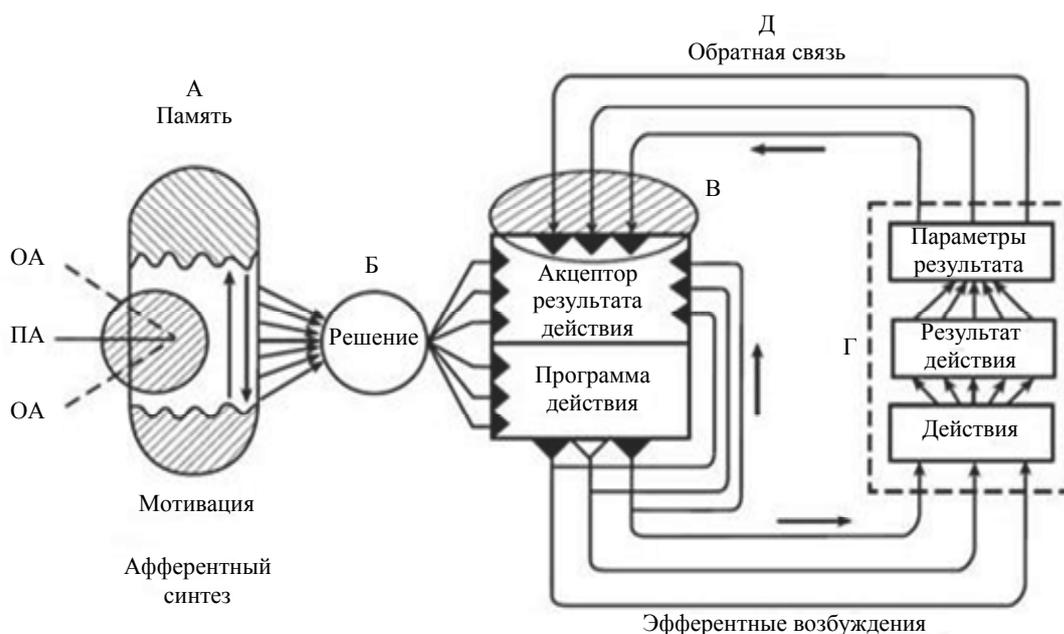


Рис. 1

ния концентрации гормонов в крови – эта концентрация регулируется посредством гипоталамо-гипофизарной системы [6]. Таким образом, функционирование обратной связи направлено на поддержание равновесия и оптимального функционального состояния в системе – гомеостаза. Для каждой структурно-функциональной единицы «живого» (клетки, органа, организма, популяции) существует механизм установления гомеостаза, а также определенные «узлы» управления действиями, приводящими систему к равновесию.

На рис. 1 предоставлена принципиальная схема организации и работы функциональной системы по П. К. Анохину. Обозначения: ПА – пусковая афферентация, ОА – обстановочная афферентация.

В соответствии с представлениями о саморегулирующихся системах с обратными связями устроена функциональная система, предложенная П. К. Анохиным (рис. 1). Функциональная система представляет собой единицу интегративной деятельности организма, т. е. определенную организацию активности различных элементов, приводящую к достижению организмом соответствующего полезного результата. Согласно теории функциональных систем, отношения организма со средой носят циклический характер [3].

Решающую роль в организации неупорядоченного множества компонентов в ФС играет результат, который является систематизирующим фактором. Достижение приспособительного ре-

зультата ФС осуществляет при помощи специфических механизмов, из них наиболее важными являются [2]:

- 1) афферентный синтез всей поступающей в ЦНС информации; оценка стимулов (обстановочная и пусковая афферентация) в соответствии с мотивационным возбуждением и прошлым опытом (памятью);
- 2) принятие решения с одновременным формированием аппарата прогнозирования результата в виде афферентной модели – акцептора результатов действия;
- 3) реализация принятого решения в действии;
- 4) сличение афферентной модели акцептора результатов действия и параметров результатов выполненного действия, полученных организмом при помощи обратной афферентации.

Таким образом, возможность восприятия результатов действия управляющего сигнала позволяет корректировать функциональное состояние с учетом потребностей организма и с целью достижения организмом оптимального функционального состояния, используя функциональную систему, разработанную Анохиным, которая дала возможность создания программно-аппаратных систем с ИОС (рис. 2), или, как их иначе называют, комплексов с биоуправлением. Такие комплексы делают доступной для осознания информацию, не воспринимаемую в привычных условиях.

Основная концепция ИОС сводится к тому, что информация о собственном функциональном

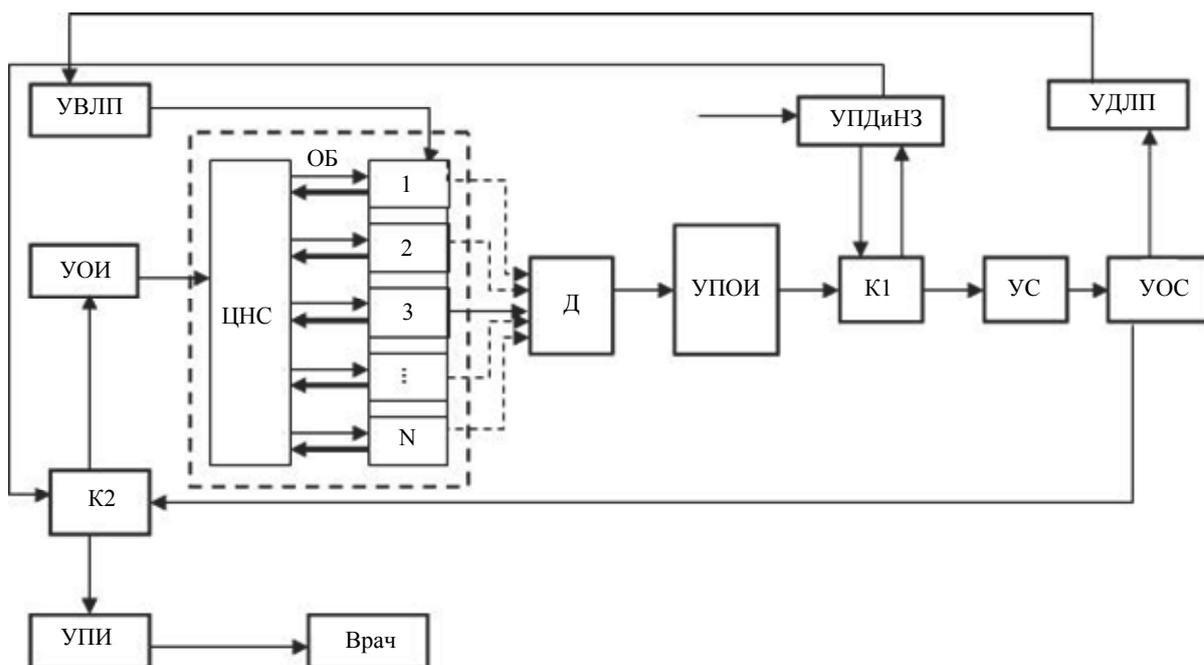


Рис. 2

состоянии, получаемая через датчики в режиме реального времени, позволяет пациенту обучиться совершенствованию нормальной и коррекции нарушенной физиологической функции с участием произвольных и непроизвольных механизмов саморегуляции.

В биоуправлении управляющим сигналом может быть любой из регистрируемых физиологических параметров (ЧСС, КГР, ЭМГ, спектральная мощность альфа-ритма и т. д.). Человек может оценить состояние своего организма по показателям основных систем организма через следующие каналы биологической информации: электрической активности кожи (ЭАК), имеющего два выхода тонической и фазической составляющих, а также датчика температуры окружающей среды (ДТОС) – информация с него, хоть и не является биологической, но может быть значимой для оценки тонической составляющей ЭАК, электрической активности мышц, сердечно-сосудистой системы (ССС) через частоту сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление (АД); нервной системы (ЦНС) через электрические сигналы, регистрируемые на электроэнцефалограмме или реоэнцефалограмме (ЭСМ); дыхательной системы (ДС) через частоту дыхания (ЧД) и степень насыщения крови кислородом (SaO₂); регуляторной системы (РС), отвечающей за биохимические процессы в организме, через температуру тела (*t*) и биохимический анализ крови, благодаря чему происходит условно – рефлексорное обучение навыкам целенаправленной нормализации функций организма. При оптимальном значении данного параметра в условиях задачи производится положительное подкрепление, в случае неоптимального, «плохого» значения параметра – отрицательное подкрепление, либо подкрепление отсутствует вовсе [3].

В приведенной на рис. 2 структурной схеме с биологического объекта (БО) с помощью датчиков (Д) снимают показатели физиологических параметров (в зависимости от исследуемого органа) и через устройство предварительной обработки информации (УПОИ) с помощью коммутатора (К1) заносят в устройство памяти (устройство предварительных данных и нормированных значения УПДиНЗ). Одновременно в устройстве памяти находятся данные физиологических параметров при нормальном состоянии организма с учетом различных факторов – возраста, пола

и т. п. Также могут быть занесены изображения динамики соответствующих исследуемых органов для периодического предъявления пациенту (таким образом можно осуществлять положительную обратную связь). Далее информацию передают через устройство сравнения (УС) и обработки сигналов (УОС) и предъявляют на устройстве отображения информации (УОИ). Коммутатор (К2) служит для периодического предъявления изображений при нормальном состоянии организма. При управлении ФС организма можно ввести звуковое сопровождение для активизации процесса воздействия ЦНС на соответствующий орган. Использование аппаратно-программных средств по аналогии с приведенной структурной схемой позволит автоматизировать процесс управления ФС организма и улучшить управление лечебным процессом.

Важными составляющими в приведенной структурной схеме являются такие узлы, как устройство ввода лекарственных препаратов (УВЛП) и устройство дозирования лекарственных препаратов (УДЛП). Особенности работы данных устройств заключаются в следующем: в зависимости от состояния пациента врач назначает лекарственные препараты с определенной дозировкой в течение определенного времени (наиболее простой пример – капельница), при улучшении показателей физиологических параметров устройство дозировки лекарственных препаратов дает команду об уменьшении количества подаваемых лекарств в БО или подает сигнал о прекращении подачи лекарства врачу и, соответственно, наоборот. Кроме того, такая система позволит оптимизировать дозу лекарств в таблеточном, порошковом и других вариантах – этом случае информация об изменении ФС передается на устройство отображения информации врача или заносится в память системы для дальнейшей корректировки назначаемой дозы лекарств.

В связи с этим большинство современных ИОС-систем имеют характер соревновательных игр, успех в которых напрямую связан со значением физиологических параметров и умением привести данные значения к оптимальным. Таким образом, человек выигрывает, обучившись управлять своими физиологическими функциями. В работах некоторых авторов [3], [7] показана корреляция между изменением определенных частотных диапазонов ЭЭГ-ритмов (обычно, альфа- и тета-) и



Рис. 3

эффективностью выполнения игровых сессий [7]. В качестве анализируемого параметра, определяющего эффективность, используют спектральную мощность или амплитуду ритмов, а также расширение (сужение) диапазона определенного ритма. В задачах, где в качестве управляющего сигнала используется ЧСС, анализируют показатели, отражающие сердечную деятельность, а также вегетативную регуляцию сердечной деятельности (ЧСС, dRR, индексы вегетативного равновесия, спектральные показатели ритмограммы сердца – LF, HF). Таким образом, функционирование системы с ИОС можно оценить по изменению физиологических показателей – от попытки к попытке или от сессии к сессии.

В обычных условиях большая часть потока обратной афферентации о параметрах жизнедеятельности организма не осознается. Поэтому обратная связь в биоуправлении обеспечивается через искусственно созданные с помощью технических средств каналы информации, которая становится доступной для органов чувств и сознательного контроля. При этом биологический объект воспринимает себя как бы в «физиологическом зеркале» и может видеть, слышать и чувствовать «отражение» собственных физиологических функций в образной форме. Сопоставляя свои ощущения с образным отражением функции и прилагая физические и психические усилия, человек обучается самостоятельно изменять параметры функционирования органов и систем до оптимального заданного уровня, соответствующего здоровью [8].

К настоящему времени применение ИОС-технологий в клинике используется при лечении синдрома нарушения внимания и гиперактивности у детей, эпилепсии, заикания, патологических зависимостей, синдрома Туретта, рассеянного склероза, хронических болей, постинсультного состояния, последствий нейротравм, мигрени, энуреза, недержания мочи, бронхиальной астмы, синдрома раздражения толстой кишки, язвенной болезни, предменструального синдрома, психогенной эректильной дисфункции, гипертонической болезни, болезни Рейно.

Использование ИОС-терапии (куда входит и БОС-терапия) рассматривается как одна из наиболее перспективных методологий в арсенале превентивной медицины, которая использует принципы когнитивной терапии, вооружая человека набором навыков, позволяющих бороться с депрессией, патологической тревогой, паническими атаками и другими нарушениями [4].

На рис. 3 приведены основные заболевания, которые могут быть вылечены с помощью ИОС.

Неклиническая сфера применения связана с использованием ИОС-технологий в стрессменеджменте, позволяющем повысить эффективность в спорте, искусстве и в другой деятельности, требующей длительных усилий и большой ответственности. Важной неклинической сферой применения ИОС-методов является педагогика, где решаются вопросы повышения эффективности обучения, развития творческих способностей. Про-

цедура ИОС-обучения связана с «измененными» состояниями сознания, имеющими непосредственное отношение к творческим способностям в широком смысле. В этом плане ИОС-обучение тесно соприкасается с такими техниками, как аутотренинг и др. [3].

Важнейшим достоинством биоуправления с методологической точки зрения является то, что оно качественно меняет взаимоотношение в системе «врач–пациент», превращая пациента из пассивного объекта врачебного вмешательства в заинтересованного активного участника оздоровительного, лечебного или реабилитационного процесса. Технология ИОС оправдана и социально, так как она повышает самооценку больного, формирует модель эффективного поведения и создает устойчивую систему навыков саморегуляции [4].

ИОС-технологии в настоящее время очень перспективны, так как скептицизм в отношении лекарственной терапии усиливается не только среди пациентов, но и среди медицинских работников. Ведь в случаях неэффективности или побочных действий лекарств, применяемых по жизненным показаниям, такие неинвазивные и надежные методы, как ИОС-процедуры, становятся незаменимыми. Также большую роль играют высокие цены на фармацевтическую продукцию и относительно невысокая эффективность лекарств при лечении большой группы заболеваний, связанных с хроническим стрессом. Появление новых компьютерных технологий, позволяющих регистрировать, обрабатывать и математически анализировать физиологический сигнал в околореальном времени, увеличивает возможности ИОС-терапии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Судаков К. В. Нормальная физиология. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2006. 920 с.: ил., табл.
2. Анохин П. К. Избранные труды. Кибернетика функциональных систем. М.: Медицина, 1998. 400 с.
3. Аладышев А. В., Субботин Е. А. Функциональное биоуправление с обратной связью – перспективная информационная технология в медицине // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 3. С. 86–87.
4. Ахлаков М. К. Информационная обратная связь как средство обеспечения надежности и эффективности деятельности оператора биотехнических систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб. 1996.
5. Быков К. М., Курцин И. Т. Кортико-висцеральная патология. Л.: Медгиз, 1960. 575 с.
6. Журавлев Б. В. Полезный приспособительный эффект в функциональных системах организма как физиологический процесс // Системный подход в физиологии: тр. Межвед. совета по эксп. и прикл. физиологии. 2004. Т. 12. С. 90–100.
7. Игровое биоуправление как технология профилактики стрессозависимых состояний / О. А. Джафарова, О. Г. Донская, А. А. Зубков, М. Б. Штарк // Биоуправление-4: теория и практика / под ред. М. Шварц, М. Штарк; Ин-т молекулярной биологии и биофизики СО РАН. Новосибирск, 2002. С. 86–96.
8. Судаков К. В. Развитие теории функциональных систем в научной школе П. К. Анохина // Вестн. МАН. Рус. секция. 2011. № 1. URL: www.heraldsias.ru/online/2011/1/196/

M. K. Ahlakov, M. A. Munassar
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

ACTIVATION OF THE REGULATIVE ABILITIES OF HUMAN ORGANISM BY INFORMATION FEEDBACK

The article considers modern technologies of management of functional state of the human organism during the effects of medications for treatment purposes. The block diagrams allowing to manage the functional state in various diseases, taking into account their specific features, were worked out. The main components of the system were described.

Information feedback, functional status, bio management, self-regulation, homeostasis, afferentation, efference, dispensing of drugs