

БІОЛОГІЧНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

Кургаєв О.П., Палагін О.В.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна

Для кореспонденції: Кургаєв Олександр Пилипович, доктор технічних наук, професор, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, проспект Глушкова, 22, Київ, 03187, Україна; e-mail: afkurgaev@ukr.net, тел.: +38 (050) 88-162-18.

В наш час зростає привабливість немедикаментозних способів реабілітації стану пацієнтів з різними видами патологій. Реабілітація з використанням біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ) базується на розвитку природної властивості живих систем до самоконтролю і саморегуляції фізіологічних функцій при різних патологічних станах організму.

Метою дослідження є аналіз основних ознак реалізації відомих процесів реабілітації з використанням БЗЗ і розробка пропозицій щодо вдосконалення засобів реабілітаційної БЗЗ-процедури.

Виявлено найсуттєвіші ознаки систем реалізації БЗЗ для реабілітації людей з обмеженими можливостями.

До переваг БЗЗ-терапії належать: швидка корекція психосоматичних порушень; усунення самої причини захворювання; тривале збереження отриманих навичок саморегуляції; відсутність побічних ефектів; зниження потреби в лікарських препаратах; вплив на основні види дисфункцій регуляторних систем організму; відсутність зовнішніх впливів на пацієнта; схема терапії строго індивідуальна; активне включення в процес лікування самого пацієнта.

Кардинальне рішення проблеми підвищення ефективності медичної реабілітації з використанням БЗЗ можливе лише за рахунок розширення функціональних можливостей реалізації реабілітаційної БЗЗ-процедури, зокрема: уніфікації процесів і засобів реабілітації, використання засобів баз знань для формалізації, еволюції та подальших досліджень процесів реабілітації, процесів комунікації мозку людини з комп'ютером.

Вдосконалена реабілітаційна БЗЗ-процедура подається трьома етапами: 1) експерт разом з інженером по знаннях формують предметну базу знань; 2) реабілітолог: засобами середовища проектування і використання реабілітаційних експертних систем (СПЕРС) складає і веде персональні реабілітаційні карти; формулює і передає завдання до СПЕРС. 3) пошук розв'язку завдання в контурі «Пацієнт - СПЕРС» із можливим звертанням до реабілітолога за додатковою інформацією.

Реалізація запропонованої структури апаратно-програмного комплексу для вдосконаленої реабілітаційної БЗЗ-процедури відповідає сучасним тенденціям створення уніфікованих, портативних і безпечних реабілітаційних систем нового покоління, які дозволяють проводити лікувальні заходи різної природи не лише в медичних закладах, але й у побуті.

Апаратно-програмні системи біоуправління повинні бути присутніми на кожному робочому місці лікаря, психолога, тренера, учителя. Окрім допомоги в лікуванні хворих вони можуть змінити мотивацію, мобілізувати ресурси особистості.

Ключові слова: реабілітація; біологічний зворотний зв'язок; переваги БЗЗ-терапії; недоліки реалізації БЗЗ.

Вступ. Стратегія медичної реабілітації полягає в досягненні людиною довголіття шляхом усунення патологічних станів і захворювань оптимізацією власних регуляторних механізмів.

Для поліпшення стану здоров'я, розвитку і вдосконалення самоконтролю і саморегуляції фізіологічних функцій при різних патологічних станах пацієнта використовується методика реабілітації, базована на біологічному зворотньому зв'язку (БЗЗ, в світі відомому як «biofeedback») [1-3].

Згідно до даних Всесвітньої організації охорони здоров'я потреби в реабілітації залишаються незадоволеними через ряд факторів [4], частина з яких пов'язана із недостатньою ефективністю відомих способів медичної реабілітації із БЗЗ.

Метою дослідження є аналіз основних ознак реалізації відомих процесів реабілітації з використанням БЗЗ і розробка пропозицій щодо вдосконалення засобів реабілітаційної БЗЗ-процедури.

1. Сутність біологічного зворотного зв'язку

В організмі людини виділяють множину фізіологічних систем, наприклад з 12 складових: нервову,

травну, серцево-судинну (кровоносну), дихальну, видільну, статеву, ендокринну, лімфатичну, імунну, покривну, систему крові, сенсорні системи [5].

Основною властивістю живих систем є здатність до саморегуляції створенням оптимальних умов взаємодії всіх елементів організму й забезпечення його цілісності, керуючись базовими принципами [6]:

1. Принцип нерівноваженості – це властивість живих систем підтримувати динамічний нерівноважний стан, асиметрію щодо навколишнього середовища.

2. Принцип замкнутості контуру регулювання здійснюється позитивним і негативним зворотним зв'язком.

3. Принцип прогнозування - здатність прогнозувати результат реакції на основі минулого досвіду.

4. Принцип цілісності. Для нормального функціонування живої системи потрібна її структурна цілісність.

БЗЗ-терапія – це процедура безперервного моніторингу певних фізіологічних показників і свідомого управління ними інформацією зворотнього зв'язку. Метод ґрунтується на принципі перекладу інфор-

мації з форми електричних фізіологічних сигналів, одержуваних від тіла людини за допомогою спеціальних датчиків, в інформацію зворотного зв'язку у формі зображень, природномовних повідомлень, мультимедійних, ігрових та інших форм інформаційної та матеріальної взаємодії в заданій області значень.

Основна мета методу БЗЗ полягає в підвищенні рівня як усвідомлення звичайно неусвідомлюваних процесів, так і довільного керування фізіологічними процесами: спочатку, шляхом контролю зовнішніх сигналів, а потім шляхом свідомого регулювання внутрішнього фізіологічного стану.

Класична модель БЗЗ припускає, що інформація про стан фізіологічної системи-мишені, стаючи доступною пацієнтові, загострює сприйняття самих симптомів порушення функціонування й дозволяє пацієнтові контролювати виконувану роботу, формувати стратегію поведінки, придатну для усунення цих симптомів. Самі думки, мотивація, терапевтичні очікування пацієнта, які виникають у процесі БЗЗ, приводять до зміни симптому [7].

До числа переваг БЗЗ-терапії зараховують:

- швидку корекцію психосоматичних порушень;
 - усунення самої причини захворювання, а не його наслідків;
 - тривале збереження навичок саморегуляції, набутих у курсі БЗЗ-терапії;
 - відсутність побічних ефектів, оскільки БЗЗ-терапія є немедикаментозною;
 - зниження потреби пацієнта в лікарських препаратах;
 - вплив не на окремі захворювання, а на основні види дисфункцій регуляторних систем організму – нервової, імунної, гуморальної;
 - відсутність зовнішніх впливів на пацієнта;
 - схема терапії призначається строго індивідуально, залежно від виду й ступеня розладу;
 - активне включення в процес лікування самого пацієнта, постійно інформуючи його про досягнуті ним результати навчання і їхню кількісну оцінку.
- Переваги методу з погляду пацієнта:
- простота;
 - неінвазивність (процедура абсолютно безболісна для пацієнта);
 - відсутність побічних ефектів;
 - можливість застосування вже з чотирирічного віку;
 - можна поєднувати з іншими методами лікування й реабілітації;
 - високий рівень мотивації пацієнта;
 - висока ефективність.

Неінвазивність, нетоксичність, надійність і ефективність підвищують затребуваність БЗЗ-технологій та роблять БЗЗ-методи одними з найбільш перспективних при лікуванні багатьох хронічних захворювань в області неврології, кардіології, урології, гастроентерології, геріатрії, педіатрії, а також у реабілітаційній і превентивній медицині.

Biofeedback включена в перелік методів лікуван-

ня, офіційно застосовуваних у медичній реабілітації в Європі поряд з іншими відомими методами. БЗЗ-терапія зараз розглядається як один з методів терапії, впровадження якого в медицину тої ж значущості, що й «третя терапевтична революція». БЗЗ-методи лише в США впроваджено більш ніж в 700 клінічних центрах, а також БЗЗ-методи в Україні з успіхом використовують: Клініка сучасної фізіотерапії й реабілітації [8]; Клініка АТОС [9]; Центр сімейної медицини Ваш Врач [1].

2. Різновиди способів БЗЗ-реабілітації.

Метод БЗЗ переважно використовується в трьох основних напрямках [3, 7]:

- регуляція рухових функцій по параметрах ЕМГ (електроміограма);
 - регуляція вегетативних функцій по параметрах ЧСС (частота серцевих скорочень), ЧД (частота дихання), ШГР (шкіро-гальванічна реакція), ЕМГ, температури тіла тощо;
 - регуляція біоелектричної активності мозку по параметрах ЕЕГ (електроенцефалограма).
- ЕЕГ-БЗЗ є найбільш перспективним видом біоуправління із зворотним зв'язком, оскільки:
- усі системи організму безпосередньо підпорядковані регуляторному впливу ЦНС (центральна нервова система);
 - за допомогою методу БЗЗ є можливість цільової перебудови самих різних параметрів ЕЕГ (потужності окремих ритмів, їхньої частоти, характеру часової послідовності хвиль ЕЕГ, просторової локалізації зазначених зрушень тощо);
 - численими дослідженнями встановлено, що цілеспрямована перебудова ритмів мозку за допомогою ЕЕГ-БЗЗ супроводжується специфічними змінами поведінки й стану ЦНС індивіда, міняє загальний рівень напруги й стан емоційно-вольової сфери.

Крім того, ЕЕГ є високоінформативним методом, що випереджає динаміку інших фізіологічних показників, а також ЕЕГ-сигнал відносно легко перетворюється в дискретну форму для інформування про динаміку нервових процесів.

Відомо, що повторювання активних цілеспрямованих рухів сприяє відновленню рухових функцій та при кінестетичній уяві рухів активуються практично ті ж області мозку, що й при здійсненні рухів [10]. Поєднання активації моторних областей мозку за посередництвом уяви рухів з контролем ступеня цієї активації складає основу БЗЗ-технології для реабілітації постінсультних і посттравматичних хворих.

Спосіб функціональної психофізіологічної корекції стану людини й діагностики в процесі корекції реалізує комплекс [11]. Сутність цього способу у візуальному поданні пацієнтові його власної кардіоритмограми (кардіоінтервалограми) у реальному часі, при тому що пацієнт аналізує свою кардіоритмограму й синхронізує свої дихальні рухи з коли-

ваннями власного серцевого ритму: при підвищенні частоти серцевих скорочень здійснює вдих, а при зниженні частоти серцевих скорочень - видих. Така кардіореспираторна синхронізація (тренінг із БЗЗ кардіореспираторної системи, кардіореспираторний БЗЗ-тренінг) приводить до релаксації пацієнта.

Спосіб [12] нормалізації психофізіологічного стану узгоджує тривалість, амплітуду й форму кожного коливання сигналу мозку з параметрами кожного сенсорного сигналу. Спосіб реалізують за допомогою пристрою, який містить блок реєстрації сигналів мозку, датчики сигналів мозку, блок перетворення сигналів мозку у відповідні сенсорні сигнали, блок впливу на пацієнта сформованими сенсорними сигналами, а також блок контролю над поточними параметрами коливань сигналів мозку і блок керування.

Спосіб [13] класифікації електроенцефалографічних сигналів в інтерфейсі мозок - комп'ютер (Brain-Computer-Interface (BCI)) полягає в тестуванні пацієнта, виділенні специфічних інформаційних компонентів із загальною просторово-часового паттерна, створенні вибірки оцифрованих фрагментів ЕЕГ від множини відведень для навчання класифікатора, обчисленні вагових коефіцієнтів і класифікації фрагментів ЕЕГ для ідентифікації класів уявних команд пацієнта, відповідних до керуючих сигналів.

Загальна схема BCI містить портативний енцефалограф, чий входи з'єднано електродами зі скальпом пацієнта, а виходи підключено до комп'ютера, вихід якого з'єднано з керованим пристроєм (наприклад, інвалідною коляскою). Користуючись BCI, повністю паралізована людина може включатись активно в навколишнє соціальне середовище й, можливо, виконувати певні завдання, займатись корисною й цікавою діяльністю.

Реабілітаційна процедура способу патента [14]

включає проведення тренувань паретичної кінцівки:

- пред'явлення пацієнтові завдання по кінестетичній уяві руху кінцівки,
- аналіз паттернів мозкової активності пацієнта, які виникають при уяві руху,
- інформування пацієнта по БЗЗ про результат виконання ментального завдання.

Це включає в процедуру реабілітації БЗЗ із контролем активації моторних областей мозку, відповідальних за цілеспрямовані рухи у хворих зі значними руховими порушеннями.

Незважаючи на суттєві успіхи, традиційна БЗЗ-терапія не завжди ефективна навіть у тих випадках, коли вдається виконати завдання лікувального протоколу. Це обумовлене тим, що в якості кінцевої мети БЗЗ використовуються параметри, які є недостатніми для нормалізації порушеної функції.

3. Узагальнення відомих реалізацій БЗЗ-реабілітації.

Національний центр адаптивних нейротехнологій (NCAN) розробив ядро фізіологічних, поведінкових, анатомічних і клінічних методів взаємодії із ЦНС і

застосував ці методи в дослідженнях реабілітаційної практики [15].

Грунтуючись на цих досягненнях, NCAN узагальнив і активно підтримує розвинену систему BCI2000 для фундаментальних і клінічних нейрофізіологічних досліджень взаємодії мозку з комп'ютером [16], яка у формі системи замкненого циклу включає засоби: для збору й обробки даних в реальному часі, представляти стимули й зворотний зв'язок, а також управляти взаємодією із зовнішніми пристроями, такими як роботизовані руки.

4. Реалізація вдосконаленої реабілітаційної БЗЗ-процедури

Всі відомі способи реалізації і використання в медичній реабілітації біологічного зворотного зв'язку не відповідають сучасним тенденціям створення уніфікованих, портативних і безпечних реабілітаційних систем нового покоління, які дозволять проводити лікувальні заходи різної природи не лише в медичних закладах, але й у побуті.

Вбачається, що кардинальне рішення проблеми підвищення ефективності медичної реабілітації з використанням БЗЗ можливе лише за рахунок розширення функціональних можливостей реалізації реабілітаційної БЗЗ-процедури, зокрема: уніфікації процесів і засобів реабілітації, використання засобів баз знань для формалізації, еволюції та подальших досліджень процесів реабілітації, процесів комунікації мозку людини з комп'ютером.

На рисунку (рис.1) наведено функціональну структуру середовища проектування і використання реабілітаційних експертних систем (СПЕРС), яке реалізує вдосконалений спосіб БЗЗ-реабілітації [17].

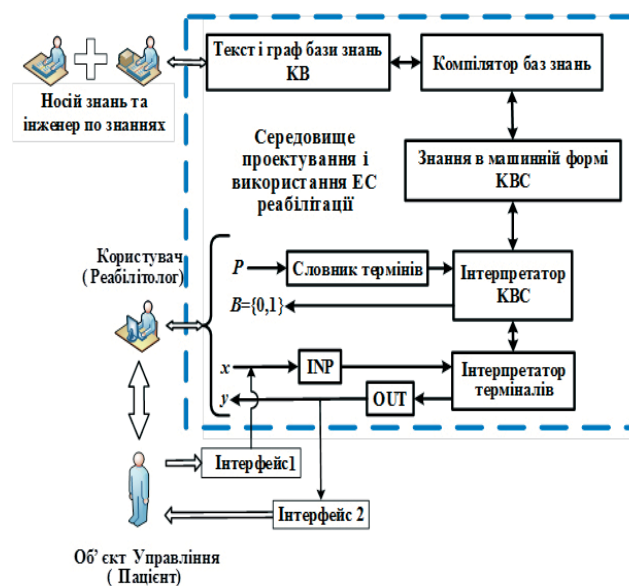


Рис. 1 Апаратно-програмний комплекс СПЕРС

Вдосконала реабілітаційна БЗЗ-процедура подається у складі трьох етапів :

1) носій знань (експерт в предметній області) разом з інженером по знаннях формують в текстовій (або графічній) формі базу знань KB (knowledge base) предметної області з наступною її трансляцією в машинну форму KBC (knowledge base computer);

2) користувач (реабілітолог) предметної бази знань:

а) попередньо, засобами середовища СПЕРС, складає і веде персональні реабілітаційні карти;

б) формулює згідно до персональної реабілітаційної карти і передає завдання до інтерпретатора KBC в суб'єктно-предикатній формі $P(x)$;

3) пошук розв'язку «у» завдання $P(x)$ в контурі «Пацієнт - СПЕРС» із можливим звертанням до користувача (реабілітолога) за додатковою інформацією.

В процесі виконання вдосконаленої реабілітаційної БЗЗ-процедури СПЕРС приймає реальні значення фізіологічних показників пацієнта, здійснює розпізнавання корисної інформації та виробляє і передає пацієнтові інформаційні повідомлення для направленої поведінки пацієнта.

Конкретним прикладом реалізації СПЕРС є архітектура інструментального середовища CLIPS (С Language Integrated Production System – мова Си, інтегрована із продукційними системами) [18, 19] або архітектура інформаційного комп'ютера з [20].

Така система може бути виготовлена апаратними, апаратно-програмними або програмними засобами в резидентному варіанті у складі довільної комп'ютерної системи або клієнт-серверної архітектури з розподілом: СПЕРС – в складі сервера, а відповідні інтерфейси – в формі клієнтської частини, навіть, у портативному варіанті.

Висновок. Такі переваги БЗЗ-технологій реабілітації як неінвазивність, нетоксичність, надійність і ефективність роблять БЗЗ-методи найбільш перспективними при лікуванні багатьох хронічних захворювань в області неврології, кардіології, урології, гастроентерології, геріатрії, педіатрії, а також у реабілітаційній і превентивній медицині.

Вбачається, що кардинальне рішення проблеми підвищення ефективності реабілітації з використанням БЗЗ можливе лише за рахунок розширення функціональних можливостей реалізації реабілітаційної БЗЗ-процедури, в тому числі з допомогою знання-орієнтованих підсистем.

Реалізація запропонованої структури апаратно-програмного комплексу для вдосконаленої реабілітаційної БЗЗ-процедури відповідає сучасним тенденціям створення уніфікованих, портативних і безпечних реабілітаційних систем нового покоління, які дозволяють проводити лікувальні заходи різної природи не лише в медичних закладах, але й у побуті.

Додаткова інформація.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки. Висловлюємо щирі подяки Національному Фонду Досліджень України за фінансову під-

тримку проекту 2020.01/02045 «Трансдисциплінарна інтелектуальна інформаційно-аналітична система супроводження процесів реабілітації при пандемії (TISP)» (2020-2021 pp.), в рамках конкурсу «Наука для безпеки людини та суспільства», договори №44/01.2020 від 23.10.2020 р та №159/01/0245 від 07.05.2021 р.).

Список літератури

1. Ваш врач. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vashvrach.com.ua/bos-terapiya-biofeedback-nexus-10-mark/>. (Дата доступу 01.10.2021).
2. Mostofsky, D. I. (2014). The handbook of behavioral medicine. *Wiley lackwell*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1002/9781118453940>. (Дата доступу 01.10.2021).
3. Biofeedback and neurofeedback therapy. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://biofeedback-neurofeedback-therapy.com/>. (Дата доступу 01.10.2021).
4. Реабілітація. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>. (Дата доступу 01.10.2021).
5. Саваневский Н.К., Хомич Г.Е. (2020) Физиология человека и животных.pdf. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://rep.brsu.by/handle/123456789/89>. (Дата доступу 01.10.2021).
6. Поняття про гомеостаз і гомеокінез. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://moyaosvita.com.ua/biologija/ponyattya-pro-gomeostaz-i-gomeokinez/> (Дата доступу 01.10.2021).
7. Возможности биологической обратной связи в управлении функциональным состоянием. [Електронний ресурс]. Режим доступу: 8-vozmozhnosti-biologicheskoy-obratnoy-svyazi.pdf (Дата доступу 01.10.2021).
8. Клініка сучасної фізіотерапії і реабілітації. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://medicwell.com.ua/>. (Дата доступу 01.10.2021)
9. Клініка АТОС. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://atos.kiev.ua/metod/biologicheskaya-obratnaya-svyaz-bos-obsledovanie-bos-terapiya/>. (Дата доступу 01.10.2021).
10. Gerardin E., Sirigu A., Leherici S. Et al. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral Cortex*. V. 10. P. 1093.
11. Способ функциональной психофизиологической коррекции состояния человека и диагностики в процессе коррекции: пат. RU 2221477 C2. МПК А61В 5/02, 5/0205, А61М 21/02; заявл. 08.02.2002. Опубл. 20.01.2004. Бюл. № 10. <https://patentimages.storage.googleapis.com/39/91/a5/94b9212c58338a/RU2221477C2.pdf>. (Дата доступу 01.10.2021).
12. Способ нормализации психофизиологического состояния: пат. RU 2410025 C2. МПК А61В 5/0476 (2006.01), А61В 5/0482 (2006.01); заявл. 17.02.2009. Опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3. [Електронний ресурс]. Режим доступу: patent-2410025.pdf (Дата доступу 01.10.2021).
13. Способ классификации электроэнцефалографических сигналов в интерфейсе мозг – компьютер: пат. RU 2415642 C1. МПК А61В 5/0476 (2006.01), А61F 2/72 (2006.01); заявл. 03.09.2009. Опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10.
14. Способ реабилитации больных после инсульта или травмы с использованием роботизированного комплекса, включающего экзоскелет конечности человека,

управляемый через интерфейс мозг-компьютер посредством воображения движений: пат. RU 2622206 C2. МПК А61В 5/0476 (2006.01), А61В 5/0482 (2006.01); заявл. 28.10.2015. Опубл. 13.06.2017. Бюл. № 17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2622206C2/ru> ; <https://patentimages.storage.googleapis.com/d8/eb/fb/768d5423db0f01/RU2622206C2.pdf>. (Дата доступа 01.10.2021).

15. The National Center for Adaptive Neurotechnologies is developing cutting-edge technology systems that continue to revolutionize the way we study the brain. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.neurotechcenter.org/technology-overview> (Дата доступа 01.10.2021).

16. BCI2000 is a general-purpose software system for brain-computer interface (BCI) research. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2020.611130/full>. (Дата доступа 01.10.2021).

17. Kurgaev AF, Palagin OV. Rehabilitation According to the Biological Feedback. In: The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. (IDAACS) 22-25 September, 2021, Cracow, Poland. Volume 2. pp 1170-1175.

18. Джарратано Дж. & Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд. Пер. с англ. Москва, Санкт-Петербург, Киев: 000 «И.Д. Вильямс», 2007. 1152 с.

19. Кургаев О.П. Характеристика инструментального средовища CLIPS. В кн.: О.П. Кургаев (ред.). Практика використання інструментального средовища CLIPS. Навч. посіб. Київ: НУХТ, 2013. С. 5-64. ISBN 978-966-612-149-6.

20. Кургаев А.Ф. Концепт информации. Часть 2. Функции научной теории. Международный научно-технический журнал. Проблемы управления и информатики. 2020. № 2. С. 124-140. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v52.i4.60

References

1. Vashvrach. Available from: <https://vashvrach.com.ua/bos-terapiya-biofeedback-nexus-10-mark/>. Accessed: October 01.2021.

2. Mostofsky D I. The handbook of behavioral medicine. Wiley lackwell. 2014. Available from: <https://doi.org/10.1002/978111845940>. Accessed: October 01.2021.

3. BIOFEEDBACK AND NEUROFEEDBACK THERAPY. Available from: <https://biofeedback-neurofeedback-therapy.com/>. Accessed: October 01.2021.

4. Rehabilitation. Available from: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>. Accessed: October 01.2021. (in Russian).

5. Savanevsky NK., Khomich GE. Human and animal physiology.pdf. Available from: <http://rep.brsu.by/handle/123456789/89>. Accessed: October 01.2021. (in Russian).

6. Understanding about homeostasis and homeokinesis. Available from: <https://moyaosvita.com.ua/biologija/ponyattya-pro-gomeostaz-i-gomeokinez/> Accessed: October 01.2021. (in Russian)

7. Biofeedback capabilities in functional state management. Available from: [8.-vozmozhnosti-biologicheskoy-obratnoy-svyazi.pdf](https://www.researchgate.net/publication/338912345). Accessed: October 01.2021. (in Russian).

8. Clinic of modern physiotherapy and rehabilitation. Available from: <http://medicwell.com.ua/>. Accessed: October 01.2021. (in Ukraine).

9. Clinic ATOS. Available from: <https://atos.kiev.ua/metod/biologicheskaya-obratnaya-svyaz-bos-obsledovanie-bos-terapiya/>. Accessed: October 01.2021. (in Ukraine).

10. Gerardin E., Sirigu A., Leheric S. Et al. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. Cerebral Cortex. V. 10. P. 1093.

11. Pat. RU 2221477 C2. IPC А61В 5/02, 5/0205, А61М 21/02 (2006.01), Method of functional psychophysiological correction of human condition and diagnostics in the process of correction. Suvorov N.B., Chikhirzhin G.M., Frolova N.L. Publ. 25.11.2008. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/39/91/a5/94b9212c58338a/RU2221477C2.pdf>. Accessed: October 01.2021. (in Russian).

12. Pat. RU 2410025 C2. IPC А61В 5/0476 (2006.01), А61В 5/0482 (2006.01), The method of normalization of the psychophysiological state. Konstantinov K.V. Publ. 27.01.2011. Бюл. № 3. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/39/91/a5/94b9212c58338a/RU2221477C2.pdf>. Accessed: October 01.2021. (in Russian).

13. Pat. RU 2415642 C1. IPC А61В 5/0476 (2006.01), А61F 2/72 (2006.01), The method of classification of electroencephalographic signals in the brain-computer interface, Vladimirsky B.M., Vladimirsky B.B., Katz M.N., Shepelev I.E., Опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10. Accessed: October 01.2021. (in Russian).

14. Pat. RU 2622206 C2. IPC А61В 5/0476 (2006.01), А61В 5/0482 (2006.01), Method of rehabilitating patients after stroke or injury using robotic complex comprising human limb exoskeleton controlled via brain-computer interface by imagining movements. Biryukova E.V., Lyukmanov R.H., Korshakov A.V., Turbina L.G., Chernikova L.A., Chervyakov A.V., Frolov A.A., Kotov S.V., Mokienko O.A., Bobrov P.D., Publ. 13.06.2017. Бюл. № 17. Available from: <https://patents.google.com/patent/RU2622206C2/ru> ; <https://patentimages.storage.googleapis.com/d8/eb/fb/768d5423db0f01/RU2622206C2.pdf>. Accessed: October 01.2021. (in Russian).

15. The National Center for Adaptive Neurotechnologies is developing cutting-edge technology systems that continue to revolutionize the way we study the brain. Available from: <https://www.neurotechcenter.org/technology-overview> Accessed: October 01.2021.

16. BCI2000 is a general-purpose software system for brain-computer interface (BCI) research. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2020.611130/full>. Accessed: October 01.2021.

17. Kurgaev, A.F. & Palagin, O.V. (September, 2021) Rehabilitation According to the Biological Feedback. Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. (IDAACS), Volume 2. pp 1170-1175. Cracow, Poland.

18. Giarratano Joseph & Riley Gary. Expert systems: principles of development and programming. 4th ed. Course Technology, 2005.

19. Kurgaev A.F., 2013. Characteristics of the instrumental environment CLIPS. In: A.F. Kurgaev (Ed.). Practice of using the CLIPS tool environment. Teaching. way. Kyiv: NUHT, P.5-64. (in Russian)] . ISBN 978-966-612-149-6

20. Kurgaev A.F., 2020. The Concept of Information. Part 2. The Functions of a Scientific Theory. Journal of Automation and Information Sciences. 52(4). 65-81. DOI:10.1615/JAutomatInfScien.v52.i4.60

BIOLOGICAL FEEDBACK FOR REHABILITATION OF PERSONS WITH DISABILITIES*Kurgaev A.F.¹, Palagin O.V.*

Nowadays, the attractiveness of non-drug ways of rehabilitation of health status of patients with various types of pathologies is increasing. Rehabilitation using biological feedback (BF) is based on the development of the natural property of living systems to self-control and self-regulate physiological functions in various pathological conditions of the body.

The purpose of the study is to analyze the main features of the implementation of the already known rehabilitation processes using biofeedback and to develop the proposals for improving the rehabilitation biofeedback procedure.

The essential features of the implementation of BF systems for the rehabilitation of people with disabilities have been identified.

The advantages of BF therapy include: prompt correction of psychosomatic disorders; elimination of the very cause of the disease; long-term preservation of acquired self-regulation skills; no side effects; reducing the need for medical drugs; impact on the main types of dysfunctions of the body's regulatory systems; lack of external influences on the patient; the therapy regimen is strictly individual; active involvement of the patient himself in the treatment process.

Fundamental solution of the problem of increasing the efficiency of medical rehabilitation with the use of biofeedback is possible only by expanding the functionality of the implementation of the rehabilitation biofeedback procedure, namely unification of rehabilitation processes and means, the use of knowledge base tools for formalization, evolution and further research of rehabilitation processes, communication processes of the human brain with a computer.

The improved rehabilitative biofeedback procedure is represented by three stages:

- 1) the expert, together with the knowledge engineer, form the subject knowledge base;
- 2) the rehabilitation therapist:
 - a) fills in and maintains personal rehabilitation records of the patients by tools of the design environment and using the expert systems (DEERS);
 - b) performs a task definition and transfers it to DEERS.
- 3) searching for a solution to the problem in the "Patient - DEERS" contour with a possible appeal to a rehabilitation therapist for additional information.

The implementation of the proposed structure of the hardware and software complex for the improved rehabilitation biofeedback procedure meets modern trends in the development of unified, portable and safe rehabilitation systems of a new generation, which will make it possible to perform various medical procedures not only in medical institutions, but also in everyday life. Hardware and software biofeedback systems should be at every workplace of a doctor, psychologist, trainer and teacher. In addition to medical care, they can change motivation and mobilize the resources of the individual.

Keywords: *rehabilitation; biological feedback; advantages of BF-therapy; non-disadvantages of BF-realization.*