СИСТЕМА ЗА ВИРТУАЛНА РЕАЛНОСТ, ИМИТИРАЩА ОКОЛНАТА СРЕДА В РОДОПИТЕ И РИЛА, С ЦЕЛ ФОРМИРАНЕ НА КАРДИОКОХЕРЕНТНОСТ У ОПЕРАТОРИТЕ НА ЕРГАТИЧНИ КОМПЛЕКСИ

Геннадий Маклаков[2], Надежда Георгиева[2], Гаро Мардиросян[1], Момчил Караиванов[3], Оксана Кудрявцева[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Научно-изследователски център за биофотоника – Смолян
[3]Областна администрация – Смолян
e-mail: g.maklakov@gmail.com

Ключови думи: *Кохерентност на сърдечната честота, емоционални състояния, биологична обратна връзка, виртуална реалност*

Резюме: *Представени са резултати от проучвания за прилагане на системи за виртуална реалност (ВР), имитиращи рекреационни зони, като целта е да се постигне устойчиво хармонично функциониране на психофизиологичните системи на човека за оптимизиране на неговата професионална дейност. Предложен е метод за формиране на кардиокохерентност с технологията за обратна връзка при вариабелността на сърдечния ритъм във ВР. Създаден е софтуер за избор на оптимален ритъм на дишане с използване на 3D филми, снимани в Родопите и Рила, чрез преобразуване на видеото в стерео формат по технологията SBS.*

A VIRTUAL REALITY SYSTEM SIMULATING THE ENVIRONMENT IN THE RHODOPES AND RILA MOUNTAINS, AIMED AT DEVELOPING CARDIAC COHERENCE IN OPERATORS OF ERGATIC COMPLEXES

Gennadii Maklakov[2], Nadezhda Georgieva[2], Garo Mardirossian[1], Momchil Karaivanov[3], Oksana Kudriavtseva[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Biophotonics Research Centre – Smolyan
[3]Regional Administration – Smolyan
e-mail: g.maklakov@gmail.com

Keywords: *Heart rate coherence, emotional states, biological feedback, virtual reality*

Abstract: *This paper presents the results of studies on the application of virtual reality (VR) systems ms that simulate recreational environments, with the aim of achieving a sustainable, harmonious functioning of the human psychophysiological systemсек in order to optimise professional performance. A method is proposed for inducing cardio-coherence using heart rate variability feedback technology in VR. Software has been developed to select the optimal breathing rhythm using 3D filмсек shot in the Rhodope and Rila mountains, by converting the video into stereo format using SBS technology.*

Въведение

Има безброй доказателства, че за безопасността на сложните ергатични системи решаваща роля играе умението на човека да приема правилни решения. В екстремни ситуации обаче психиката е подложена на силно натоварване и са възможни психически нарушения. Те често провокират възникването и развитието на сериозни соматични заболявания. По тази причина е важно и много актуално разработването на системи и методики за подобряване на психосоматичното състояние с цел да се съхрани целостността и стабилността на човека (или на група хора). Едно от перспективните направления в тази насока е използването

на технологията за формиране на кардиокохерентност, основните положения за която са разработени в Института XeartMath (САЩ).

Една от тенденциите за формиране на кардиокохерентност е използването на рехабилитиращото въздействие на околната среда, добре известно и потвърдено от многобройни публикации, в това число и наши [1–5]. В България съществуват множество уникални зони със силно и благотворно въздействие – Стара планина, Родопите, Рила и др. [1–3]. Непосредственото «потопяване» в благотворна екологична среда, за съжаление, не винаги е възможно. На помощ идват системите за виртуална реалност [7, 8]. Особена ценност придобиват системите за виртуална реалност (СВР), тъй като в тях е възможно да се реализира биологична обратна връзка във виртуална среда (БОВ-ВС) за формиране на кардиокохерентност.

Теоретична обосновка на такъв подход са представени в нашата статия „Технологията за кардиокохерентност в практиката за възстановяване след стрес и осигуряване на надеждност в професионалната дейност на авиационния и космическия персонал“, публикувана в сборника от материали на Конференцията.

Използване на анализ на ритмограма за оценяване на кардиокохерентността

Показателите от ритмограмата отразяват състоянието на механизмите за регулиране на физиологичните функции на човешкото тяло, по-специално общата активност на регулаторните механизми, неврохуморалната регулация на сърцето, както и връзката между симпатиковия и парасимпатиковия отдел на вегетативната нервна система.

Кардиокохерентността може да се оцени, при това с голяма точност, по параметрите на вариабелността на сърдечния ритъм (ВСР). Според стандартите, приети в САЩ и Европейския съюз [9], за анализ на ритмограмите са използвани следните показатели, приети за най-информативни при анализ на кардиокохерентността: TP е общата мощност на спектъра на ритмограмата, мсек^2; LF е мощността на спектъра на ритмограмата в нискочестотния диапазон 0,15–0,04 Hz, мсек^2; HF е мощността на спектъра на ритмограмата във високочестотния диапазон 0.40–0,15 Hz, мсек^2; LF/HF – индекс, отразяващ симпатовагалния баланс.

Ключова идея на нашия подход за използване на виртуална реалност за формиране на кардиокохерентност

Изходна теза. Използването на биологична обратна връзка във виртуална среда увеличава нейната ефективност**.**

Обосновка. Виртуалната реалност (ВР) създава по-поглъщащи условия, където вниманието е съсредоточено, разсейващите фактори са минимизирани и дишането и сърдечният ритъм се синхронизират по-лесно. С прости думи – човек се чувства вътре в случващото се, а не просто наблюдава отстрани**.** По този начин ВР действа като усилвател на БОВ-ВС, разширявайки нейното приложение, прави метода по-универсален – полезен не само за медицина, спорт, образование и превенция на професионално изтощение, но и за използване от оператори на ергатични системи за стабилизиране на състоянието си и оптимизиране на работоспособността.

Основни идеи за реализиране на нашия подход. 1) Барорефлекс като система за управление. Сърдечният ритъм (СР) и съдовият тонус (СТ) се регулират от барорефлексите – затворени системи с отрицателна обратна връзка и закъснение. Тези закъснения създават резонансни честоти. 2) Две ключови резонансни честоти ~ 0,1 Hz – свързана със сърдечния барорефлекс, и ~ 0.03 Hz – свързана със съдовия барорефлекс. Тези честоти усилват колебанията на СР и СТ при ритмична стимулация.

Методи за стимулиране на резонанс. 1) Дишане с честота около 0,1 Hz (6 вдишвания/издишвания в минута) предизвиква устойчиви високо амплитудни колебания и се използва в БОВ-ВС. 2) Ритмично стягане на мускулите с 0,1 Hz също предизвиква резонанс, особено в съдовия тонус. 3) Емоционални визуални стимули при подаване с честота 0,1 Hz усилват сърдечните реакции и позволяват оценяване на емоционалното вълнение. Такъв подход определя клиничното значение на нашия метод. 1) БОВ-ВС за резонансна честота е доказала ефективност при астма, депресия, фибромиалгия, неврози и хипертония. 2) Ритмично мускулно напрежение и визуални стимули могат да се използват за профилактика на вазовагални реакции, рехабилитация след инсулт или инфаркт, както и в спортната медицина. 3) Изследването на резонанс при 0,03 Hz открива перспективи за нови методи на терапия, включително използване на музика или меки стимули. Практическата реализация на БОВ-ВС е проведена в две направления.

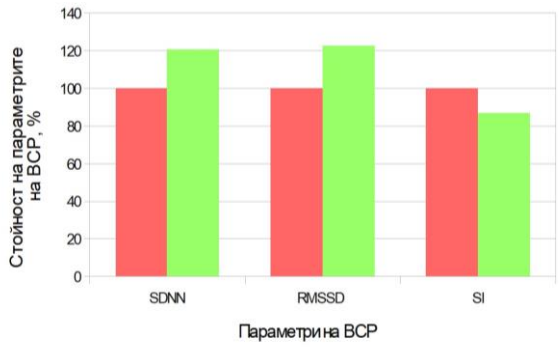
Първо направление. Стерео видео с прост индикатор за дишане "топче нагоре-надолу" (вертикалното движение на топчето се наслагва върху видеото) за телефон във ВР шлем.

Предимства на такъв подход: 1) Потапяне без сложна техника: дори просто стерео видео на природата с индикатор за дишане създава усещане за потапяне и намалява разсейващите фактори. 2) Фокусиране на вниманието: движещото се топче задава ритъма на дишането, а ВР средата усилва концентрацията върху процеса. 3) Достъпност: не са нужни скъпи слушалки или сложни сензори – достатъчен е смартфон и прости ВР очила. Ползи от прилагането на такъв подход: 1) Гъвкавост при използване: в медицината, включително авиационната медицина, психологията, спорта и др. (релаксация, профилактика на изтощение, когнитивни тренировки и т.н.).

Второ направление. Хибридна схема: ВР видео + индикатор на дишането и свързване на ВСР сензор (Polar, Empatica, Shimmer и др.). В този случай топчето може да се движи не само по зададения ритъм, но и да се адаптира към реалните физиологични данни на потребителя. В тази публикация е разгледано първото направление. За реализирането на БОВ-ВС е разработен специализиран софтуер на Python, който осигурява създаването на висококачествен стерео контент (висока резолюция – поне 2560 × 720 и плавност – 30–60 FPS), предвижда се изчисляването на необходимите ВСР метрики и реализирането на различни режими на интерактивно управление на ВР. За най-пълна проверка, освен ВР с използване на очила, беше реализирана възможност за гледане на стерео съдържание на таблет, настолен компютър и на големи екрани. Проучванията са извършени със следното оборудване: реоплетизмограф и портативен кардиограф на компания "ART INTECH", очила за виртуална реалност, модел SC-G04C/SC-B03; мобилни телефони клас Xiaomi Redmi Note. За да гледаме 3D видео съдържание, използвахме лаптоп (15" монитор), настолен компютър (24" монитор) и телевизор (65" екран).

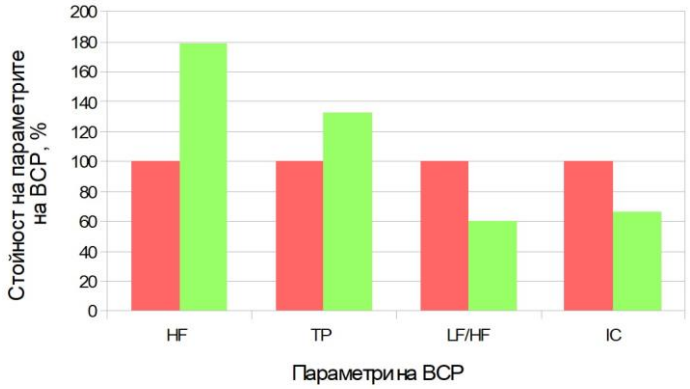
Използване на анализ на ритмограма за оценяване на кардиокохерентността

Съгласно европейските стандарти за измерване и физиологична интерпретация на ВСР [9] за представяне на резултатите от изследванията са избрани следните параметри: SI, SDNN, RMSSD, IC, TP, индекс LF/HF, мощност на спектъра в областите VLF, LF, HF. На фиг. 1 е показано състоянието на параметрите SDNN, RMSSD, SI преди и след сеанс с БОВ-ВС (3D филм „Горско поточе“, Рила), типично за жена на възраст 50–55 г. За удобство на анализа, тук и по-нататък, стойностите преди сеанса се приемат за 100%, след това съответно се показват измененията (увеличение/намаление) на този параметър (стойности в %).



Фиг. 1. Нива на параметрите SDNN, RmsSD, SI (червен цвят) преди сеанса с БОВ-ВС и след това (зелен цвят)

Както се вижда от диаграмата (фиг. 1), преди използване на система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР, нарастват показателите SDNN на 20,8% и RMSSD на 22,9%. Ръстът на SDNN показва увеличаване на общата вариабилност на сърдечния ритъм, което води до следните положителни ефекти: подобряване на адаптацията към натоварвания и стрес, по-бързо възстановяване на психоемоционалното състояние (което намалява риска от преумора), повишаване на устойчивостта към стрес, подобряване на общото самочувствие, настроение и на когнитивните функции (концентрация, памет). Ръстът на RmsSD подчертава усилването на активността на парасимпатиковото (вагусово) звено на вегетативната нервна система, което показва активиране на процесите на възстановяване на организма след физиологичен или емоционален стрес. Повишава се адаптацията към условията на професионалната дейност. Като цяло има засилено влияние на парасимпатиковата нервна система (чрез активиране на блуждаещия нерв), която е отговорна за възстановяване и релаксация. Параметърът SI е намалял с 13,2%, което показва понижаване на нивото на стрес след сеанс на 3D филм "Горски поток". Представлява интерес анализът на спектралните характеристики на ритмограмите преди и след сеанса със СВР. На фиг. 2 е показано състоянието на параметрите TP, HF, LF/HF, IC преди и след сеанс БОС-ВС (3D филм «Горско поточе», Рила), типично за жена на възраст 50–55 г.



Фиг. 2. Нива на параметрите TP, HF, LF/HF, IC на спектъра преди (червен цвят) използване сеанс на БОС-ВС и след това (зелен цвят)

Както се вижда от диаграмата (фиг. 2), общата мощност на спектъра TP след сеанса със СВР увеличилась на 32,3%, что отражает возрастание суммарной активности вегетативных воздействий на сердечный ритм, также указывает на активацию парасимпатического отдела ВНС. HF е мощността на високочестотния спектър, свързан с парасимпатиковата активност. Следователно, рязко увеличение на параметъра HF с 78,9% показва значителна активация на парасимпатиковия АНС. Намаление от 39,5% в индекса LF/HF показва промяна в автономния баланс към преобладаващо парасимпатиковото (вагално) влияние. Намаление на индекса на централизация на IC с 33,7% показва увеличаване на автономната регулаторна верига и, съответно, намаляване на влиянието на централните регулаторни механизми върху сърдечния ритъм. Това може да се дължи на увеличаване на влиянието на парасимпатиковата нервна система, например по време на сън, почивка или при намаляване на нивата на стрес. Всички данни от анализа на ритмограмите потвърждават ефективността на сеанс с БОС-ВС за формиране на кардиокохерентност и совпадают с выводами других исследователей [10–11].

На фиг. 3 е показано състоянието на параметрите EE, DP, PA теста Маслач (MBI) на професионално изгаряне преди и след сеанс със БОС-ВС (3D филм «Горско поточе», Рила), типично за жена на възраст 50–55г.

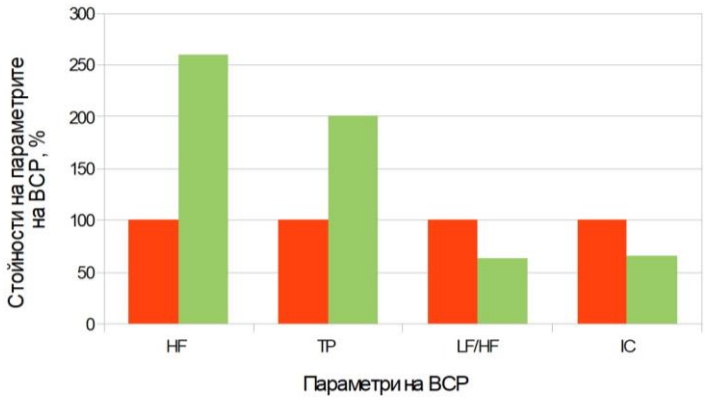
Както се вижда от диаграмата (фиг. 3), намаляването на параметъра EE с 11,8% показва намаляване на психо-емоционалното изтощение, човекът започнал да усеща по-малко хронична умора, трудности с концентрацията и спад в мотивацията, което е признак, че ресурсите се възстановяват и влиянието на изгарянето върху професионалната дейност отслабва. Параметърът DP е намалял с 16,7%, което говори за увеличаване на социалната адаптация, намаляване на раздразнителността и нетърпимостта в комуникационните ситуации, негативизъм към колегите. Параметърът PA практически не се е променил (с оглед на грешката при измерването). Като се вземе предвид намаляването на параметрите EE и DP, както и това, че първоначално (преди сесията) нивото на PA е било високо, можем да заключим, че човекът все още запазва адекватна самооценка на своите професионални успехи и няма изместване към обезценяване на своя труд. Всички данни от анализа на резултатите от теста за профессионално прегаряне потвърждават ефективността на сеанс с БОС-ВС за формиране на кардиокохерентност.



Фиг. 3. Нива на параметрите EE, DP, PA теста Маслач (MBI) на професионално прегаряне преди (червен цвет) използване на сеанс с БОВ-ВС и след това (зелен цвят)

Важно да се подчертае една особеност при формирането на кардиокохерентност – има различни начини за нейното постигане, които често са по-ефективни от резонансното дишане, разглеждано в тази статия. Някои от тях са анализирани в статията „Технологията за кардиокохерентност в практиката за възстановяване след стрес и осигуряване на надеждност в професионалната дейност на авиационния и космическия персонал“ (вж. настоящия сборник).

Като илюстрация ще разгледаме аналогични изследвания, проведени в Родопите през 2018–2020 г. (в рамките на експедиции за изследване на влиянието на екологията върху състоянието на човека). Първо бяха определени маршрути с най-благотворно въздействие на природата върху човека (с оглед на препоръките на технологията “Shinrin-yoku” [5, 6]). Бяха (според резултатите от изследванията) създадени съответните видеоклипове за СВР. Те показаха висока ефективност по време на КОВИД епидемията. Нека ги разгледаме от гледна точка на формирането на кардиокохерентността. На фиг. 4 е показано нивото на параметрите TP, HF, LF/HF, IC на спектъра преди провеждането на сесия БОС-ВС и след това, типично за мъж на възраст 70–75 г.



Фиг. 4. Нива на параметрите TP, HF, LF/HF, IC на спектъра преди (червен цвят) използване на сеанс на БОС-ВС и след това (зелен цвят). СВР: 3D филм «Каньон на водопадите» (Орфеев водопад, Родопи).

Както се вижда от диаграмата (фиг. 4), общата мощност на спектъра TP и мощността на високочестотния спектър HF след сеанса със СВР значително се увеличават – с 200% и 260% съответно. Впечатляващо! Такова рязко увеличение показва значително повишаване на сумарната активност на вегетативните въздействия върху сърдечния ритъм, което говори за значително активиране на парасимпатиковия дял на ВНС. HF е мощността на високочестотния спектър, свързана с парасимпатиковата активност. Това е типично за мъж на възраст 70–75 г. За също влияние свидетелства и рязкото увеличаване на параметъра HF. Намалението с 63% на индекса LF/HF показва възстановяване на организма и значително освобождаване от стреса. Намалението на индекса на централизация IC с 66% сочи за усилване на автономния контур на регулация и, съответно, за намаляване влиянието на централните механизми на регулация върху сърдечния ритъм. Комбинацията от рязкото увеличение на тези параметри води до значително намаляване на стреса според индекса SI – с 202%. Всички данни от анализа потвърждават ефективността на сеанс с БОС-ВС за формиране на кардиокохерентност.

Заключение

Системи за виртуална реалност (СВР), имитиращи рекреационни зони, с използването на технологията за формиране на кардиокохерентност (ТФК), способстват за постигане на устойчиво хармонично функциониране на психофизиологичните системи на човека и оптимизиране на неговата професионална дейност.

Специални 3D филми, използващи ТФК, с успех могат да се прилагат като допълнителна възстановителна терапия, за профилактика и възстановяване на психосоматичното състояние на лица, изпитали силно психическо натоварване.

Такива системи са изключително подходящи за възстановяване на психоемоционалното състояние на хора, заети в критични производства, изискващи от тях стабилна психика (авиация, космонавтика, оператори в АЕЦ и т.н.).

Предложеният подход подпомага също възстановяване на психическото състояние, коригиране на професионалното изчерпване и повишаване работоспособността на заетите в аерокосмическия отрасъл.

Литература:

1. Маклаков Г., Георгиева Н., Караиванов М. Приложение на биофотонната визуализация за мониторинг на рекреационни зони в Родопите и въздействието им върху психосоматиката на човека. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020. С. 298–303.
2. Маклаков, Г., Георгиева Н., Малев Е. Изследване на перспективни рекреационни зони в България за рехабилитация и профилактика чрез хронофизиотерапия на работещи в аерокосмическия отрасъл. // Международна научна конференция «Космос, Екология, Сигурност “SES-2018”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2018. С. 335–340.
3. Маклаков, Г., Георгиева Н. Приложение на метода газоразрядна визуализация за изследване на перспективни рекреационни зони в Крушунския край (България). // Международна научна конференция «Космос, Екология, Сигурност “SES-2017”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2017. С. 255–261.
4. Bowler, D.E.; Buyung-Ali, L.M.; Knight, T.M.; Pullin, A.S. A Systematic Review of Evidence for the Added Benefits to Health of Exposure to Natural Environments. BMC Public Health 2010, 10, 456. McMahan, E.A.; Estes, D. The Effect of Contact with Natural Environments on Positive and Negative affect: A Meta-Analysis. J. Posit. Psychol. 2015, 10, 507–519.
5. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan. Environ. Health Prevent. Med. 2010, 15, 27–37.
6. Цинг Ли, "Шинрин-йоку“. Изкуството и науката на горското къпане". Издателска къща «Хермес», 2018 г
7. Маклаков Г., Георгиева Н. Изследване на екологорехабилитиращи звукови среди на рекреационни зони в България за рехабилитация и профилактика на работещи в аерокосмическия отрасъл. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020. С. 292–297.
8. Маклаков Г., Георгиева Н. Синдромът емоционално прегаряне - как да стабилизираме психосоматичното състояние на авиационния и космическия персонал с използване на системи за виртуална реалност. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2023”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2023. С. 119–223
9. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. // Circulation. Vol. 93, 1996. p. 1043–1065.
10. McKee MG. Biofeedback: an overview in the context of heart-brain medicine. Cleve Clin J Med 2008; 75 (suppl 2):S31–S34.
11. Moravec CS. Biofeedback therapy in cardiovascular disease: rationale and research overview. Cleve Clin J Med 2008; 75(suppl 2):S35–S38.