

АНАЛИЗ НА МЕТОДИ И ПОДХОДИ ЗА ОЦЕНКА НА ВАРИАБИЛНОСТТА НА СЪРДЕЧНАТА ЧЕСТОТА

ANALYSIS OF METHODS AND APPROACHES FOR EVALUATION OF HEART RATE VARIABILITY

Penio Lebamovski

Institute of Robotics-Bulgarian Academy of Sciences

E-mail: p.lebamovski@abv.bg

Abstract

This article analyses methods and approaches for assessing heart rate variability (HRV). One of the approaches is to study the impact of sports, in particular running athletics on HRV. As a result of the research, it was found that sports increase HRV by increasing the sympathetic share. The HRV method is influenced by various factors: diseases, external factors, physiological and lifestyle factors. Those that influence the athletic achievements of athletes are also considered. The impact of stress on HRV can be studied by creating 3D serious games to simulate various stressful situations and to study their impact on HRV. The article presents virtual reality systems, which are of two types: with immersion and without immersion and their application in the study of HRV. It follows from the analysis that the level of sympathetic tone in the analysis of HRV using virtual reality depends on the degree of immersion. Another approach to assessing HRV is to monitor patients at night to determine parasympathetic tone of the autonomic nervous system. For the accurate analysis of HRV, the mathematical methods used are important, which are mainly divided into linear and nonlinear. Spectral analysis is an example of linear, and Poincaré plot is nonlinear.

Keywords: HRV(Heart Rate Variability), ECG(Electrocardiography), VR(Virtual Reality), HMD(Head Mounted Display), Poincare plot, running athletics

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Вариабилността на сърдечната честота (ВСЧ) е мярка за вариацията между ударите на сърцето [12], която зависи от физически, психологически, болестни състояния, стрес, тревожност и други. При спортистите е важно да се наблюдава сърдечната честота, като се следи нивото на ВСЧ [12]. Хората, които имат висока ВСЧ се адаптират сравнително по-бързо от останалите към вътрешни и външни стимули. Тези, които водят заседнал начин на живот имат по-ниска ВСЧ в сравнение с активно спортуващите. Практикуването на редовен спорт чрез редовни тренировки водят до повишаване на ВСЧ и намаляване на смъртността [12]. Установено е, че при анализа на ВСЧ при следните трите вида бегачи: на къси, средни и дълги разстояния, влияние върху спортиста оказва публиката на стадиона. При всеки човек/спортист горепосочените фактори влияят по-различен начин. От важно значение е биологичната обратна връзка, това е един от процесите при който се установява как човек реагира на обкръжаващата го среда. При хората ефекта от техните мисли, действия и емоции по различен начин влияе върху ВСЧ.

В публикация [1] са показани резултатите от ефекта на тренировките за издръжливост върху ВСЧ. Тук от важно значение е нивото на кислородна сатурация. При спортуващите хора се забелязва повишаване на ВСЧ чрез максимално поглъщане на кислород. Други фактори, които влияят на ВСЧ са: генетика, възраст, пол, хранене, сън и почивка. Те влияят и върху тренировките за издръжливост.

Целта на статията е да бъде извършен анализ на подходи и методи за оценка на ВСЧ на спортуващи по време на стрес и в състояние на покой. Анализът се извършва чрез записи, регистрирани посредством холтер в продължение на 30 минути и чрез прилагане на нелинейния метод на Поанкаре.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. Симпатиков и парасимпатиков тонус

Съречно-съдовата система, сърцето и кръвообращението се контролират от мозъка [1] и от важно значение е автономната нервна система (АНС), която от своя страна включва симпатикови и парасимпатикови нерви. Тези две части от АНС (фиг. 1) се допълват една с друга, като при симпатиковия дял сърцето увеличава своя ритъм, докато при парасимпатиковия дял се намалява. Анализът на променливостта на сърдечната честота може да бъде полезна при тренировките на спортистите [1]. Важно е определянето на симпатиковия сигнал. ВСЧ е най-подходящия метод за контрол на симпатиковия и парасимпатиковия дял [1]. АНС контролира функциите на организма, като: дишане, храносмилане, сърдечна честота, кръвно налягане и др. При симпатиковата нервна система се подобрява физиологичната активност на организма и то основно при стрес. Стресът може да бъде предизвикан или при спорт или посредством 3D симулация на реална ситуация посредством сериозна 3D игра. Когато бива активиран парасимпатиковият дял, от автономната нервна система, следва организмът да почине и да се възстанови. Известно е, че здравето човешко сърце не бие равномерно, като сърдечната честота може да се променя при спорт и при дишане и са възможни е следните ситуации:

- Ако преобладава парасимпатиковият дял ще има висока степен на променливост на ВСЧ.
- Ако доминира симпатиковият дял, се намалява действието на парасимпатиковия дял, което води до намаляване на ВСЧ.

В публикация [6] са показани резултатите от направени изследвания за влиянието на парасимпатиковия дял по време на сън, като е направено заключението, че сърдечната честота се забавя с 24% при неспортуващи хора, а при активно спортуващи с 21%. За треньора е важно как реагира тялото на спортиста при стресова ситуация. По време на спортни упражнения, спортистът преминава през следните 3 етапа: етап на безпокойство, етап на съпротива и етап на претрениране. За да се избегне третия етап от тренировката е необходимо създаването на програма за спортиста с цел избягвания на контузии и подобряване на спортните постижения.

Съществуват два вида записи, които се използват при изследване на сърдечната честота:

- Къси записи на RR времевите интервали – до 5 минути, т.е това е бърза оценка на ВСЧ.

- Дълги 24-часови записи на RR времевите интервали. При този метод се прави по-точна оценка на ритъма на сърцето.

За да се направи оценка на ВСЧ чрез спектралния анализ са необходими съответно записи от около 60 секунди за високочестотен компонент в сърдечния ритъм. Докато за анализ на нискочестотния са необходими 120 секунди. За по-точна оценка на нискочестотния компонент са необходими 5 минути запис.



Фиг. 1. Автономна нервна система

2.2. Фактори, влияещи на ВСЧ при спортуващи и неспортуващи

ВСЧ дава възможност да се определи физическата издръжливост при спортистите според: възраст, пол, раса и времеви пояс. Всеки човек има различно ВСЧ, като при жените пулсът е по-активен. В детството се наблюдава най-високото ВСЧ. Спортът има благоприятен ефект върху ВСЧ, т.е силата на спектъра се увеличава и сърдечната честота става по-рядка. При претоварване се увеличава честотата, а от там ВСЧ намалява. Факторите влияещи върху вариабилността на сърдечната честота могат да бъдат разделени в следните 4 групи:

- Заболявания.
- Фактори свързани с начина на живот: употреба на алкохол, наркотици, допинг и теглото.
- Външни фактори.
- Физиологични фактори.

В спорта освен разглежданите фактори има и още един, който е свързан с това къде ще бъде проведен спортния форум (турнир, европейско, световно първенство, олимпиада). От важно значение е адаптацията към средата в която ще бъде проведено миропрятието, като: типа на спортния форум, държавата домакин, климатични условия и надморска височина и др. Основният фактор, който влияе върху атлета това са физиологичните фактори. В леката атлетика и конкретно в беговите дисциплини доминира негроидната раса, които са много издръжливи, което оказва влияние върху напредъка на беговите резултати.

Стресът е негативен фактор, който понижава ВСЧ и предизвиква промени във функционирането на всички системи за контрол на тялото. Като адаптивен отговор, стресът е придружен от редица негативни промени, които могат да се превърнат в рискови фактори или дори да предизвикат функционални нарушения и заболявания.

2.3. 3D технологията и ВСЧ

3D стереоскопичната технология за визуализация, днес основно се използва в областта на развлеченията и кино индустрията [5]. С развитието на компютърната графика, технологиите за 3D стереоскопична визуализация и 3D стерео телевизията се очаква в близко бъдеще да намерят масово приложение и в редица други области, като: медицина, архитектура, образование и др. [3, 4]. 3D технологиите могат да се използват като приложение на виртуалната реалност (VR) за предизвикване на стресови ситуации, които в комбинация с методите за анализ ще предоставят на изследователите нови възможности за анализ на ВСЧ при различни физиологични, патологични и стресови състояния.

Виртуалната реалност е компютърно базирана технология за симулиране на въздействията (визуални, слухови, тактилни) на изкуствено генерирана околна среда върху човешките сетива, при което индивидът получава впечатлението, че е “потопен” в реалната действителност [8, 14-16]. Съществената разлика на VR от другите компютърни технологии за изобразяване на информацията (например: големи дисплеи, екрани и т.н.) е, че е налице “обратна връзка” по отношение на въздействията на човека върху нея, т.е. виртуалното обкръжение се изменя адекватно на реакциите му посредством интерактивност. Друго определение за виртуална реалност е: „Компютърно синтезирана изкуствена среда“. Обект на настоящата статия е практическото приложение на VR при отчитането на вариабилността на сърдечната честота. С VR може да се създава нова среда, която да е близка до реалната, а с помощта на интерактивност, потребителят може да взаимодейства с нея. Моделът, който се създава с тази технология, е тримерен т.е. изследваните обекти са близки до реалните. Основните характеристики на такъв вид система са: изкуственост, интерактивност, 3D реалност и илюзия. Стереоскопичните системи за виртуална реалност биват два вида: с потапяне и без потапяне. Тези системи се различават по специфичен начин една от друга. Системите с потапяне изискват големи средства за оборудване и техника. Такива системи са: Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) и Head Mounted Display (HMD) (фиг. 2). Системите без потапяне, като 3D мониторите и очилата за виртуална реалност са сравнително евтини, като предлагат възможности, подобни на системите с потапяне.

Системите с потапяне (CAVE) са проекционни системи, използващи техника за проектиране на изображения по стените, тавана и пода на куб, голям колкото стая. Впоследствие на което човек може да се разхожда в стаята, използвайки специални стерео очила, след което системата подава информация за изображението [9]. При използването на тази система се констатира, че симпатиковата активност е значително по-висока в сравнение с другите системи [19].

Системите без потапяне са настолните стационарни компютри, при които виртуалният свят се показва на специализиран стереоскопичен монитор, а потребителят е снабден с активни 3D очила [9]. При тези системи потапянето във виртуалния свят е значително по-малко от системите с потапяне. Предимството на тези системи е, че те са

по-достъпни за използване, защото са сравнително евтини. Има възможност и за 3D традиционна визуализация, която не зависи от допълнителен хардуер и софтуер, като може да се реализира на всеки компютър.



HMD Odyssey

Фиг.2. Виртуален шлем (Head Mounted Display)

2.4. Сериозни игри и ВСЧ

За да се изследва как стресовите ситуации влияят на ВСЧ са необходими софтуерни продукти за симулиране на стресови ситуации. Симулациите и виртуалните светове – това са начини за моделиране на ситуация от реалния свят. Това е среда, в която играещият може да изследва 3D вариант на обкръжаващия го свят, като става част от него, т.е аватар [13]. Основна цел на сериозната игра не е за забавление, а за получаване на нови знания. Тези игри могат да се играят както с един играч така и с повече участници.

За да се изследва ВСЧ на хора, които не могат да се подлагат на физическо натоварване, поради различни причини, на помощ идва използването на виртуалната реалност. Сериозните игри за симулации на стресови ситуации не трябва да са твърде екстремални, за да може изследването да се извърши за по-продължително време, като се регистрират RR (PP) интервални серии, чрез електрокардиографско, фотоплетизмографско [20, 21] или холтерно устройство [22]. Генерираните сигнали се анализират чрез математически методи [25, 26], след което се прави сравнителен анализ между получените резултати от приложената стресова ситуация с резултатите получени в състояние на покой. От направения сравнителен анализ се прави оценка на ВСЧ. Като средство за реализация на сериозни игри могат да бъдат използвани системи с или без потапяне. Очакванията са, че при използване на виртуален шлем нивото на симпатиковия превес ще бъде значително по-голям в сравнение със стационарния компютър, включително 3D пасивната и активна технологии.

2.5. Методи за определяне на ВСЧ

Математическите методи за анализ на ВСЧ биват два вида: линейни и нелинейни [2, 6, 7, 10]. Линейните методи са стандартизирани и се използват в клиничната практика, докато нелинейните методи са в процес на активни изследвания. Характерно за тези

математически методи е, че те са универсални и се прилагат за анализ на данни и в други научни области [23, 24].

В настоящата статия е използван нелинейния метод на Поанкаре [7, 18]. Има 3 вида записа: до 10 минути, до 1 час и 24 часов. Първият вид запис е подходящ за изследване влиянието на средното натоварване върху атлета. Вторият е за определяне на симпатиковия дял от АНС, а 24-часовия ежедневен запис е подходящ за определяне на парасимпатиковия дял. Във възстановителния период на спортиста, когато се активира парасимпатиковия тонус, следва да се направи оценка на влиянието на конкретно физическо натоварване върху ВСЧ. По този начин може да се извърши мониторинг и да се състави най-подходяща тренировъчна програма на спортиста. Така до голяма степен ще може атлета да се предпази от претоварване, преумора, нежелана контузия и ще се подобрят спортните резултати и постижения. Организмът на трите вида бегачи реагира по различен начин на конкретно физическо натоварване, което налага съставянето на различна тренировъчна програма в зависимост от групата в която попада спортиста. След извършване на наблюдение от около един месец как реагира атлета на натоварванията, ще може да се определи посредством ЕКГ какъв тип бегач е: силов или издръжлив.

Спектралният анализ на RR интервалните серии показва, че парасимпатиковата нервна система работи бързо, за да намали сърдечната честота, докато симпатиковата нервна система работи бавно, за да увеличи сърдечната честота. При спектралния анализ съществуват следните 3 компоненти [2, 6, 10]:

- Много ниска честота VLF.
- Ниска честота LF.
- Висока честота HF.

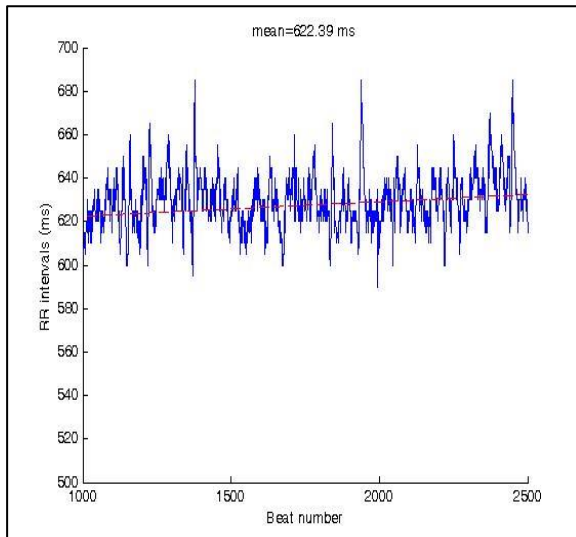
Всяка от тези честоти е свързана с определена физиологична причина. При късите записи от 5 до 10 минути се определят: VLF, LF и HF, докато при дългите 24-часовите записи се включва още един компонент ULF (Ултра Ниска Честота). VLF компонентът на ВСЧ определя симпатиковия и парасимпатиковия дялове на АНС. С отношението на LF/HF може да се определи нивото на симпатиковия дял [2]. Според стандарта за вариабилност на сърдечната честота, той трябва да е в границата (1.5 - 2).

Влиянието на автономната нервна система и качеството на съня може да се определи посредством нелинейния метод на Поанкаре. Той е геометричен метод, при който всеки RR интервал е представен като функция на предходния интервал и се нанася на координатната система. Всяка двойка RR интервали (предишен и следващ) е с координати (x,y).

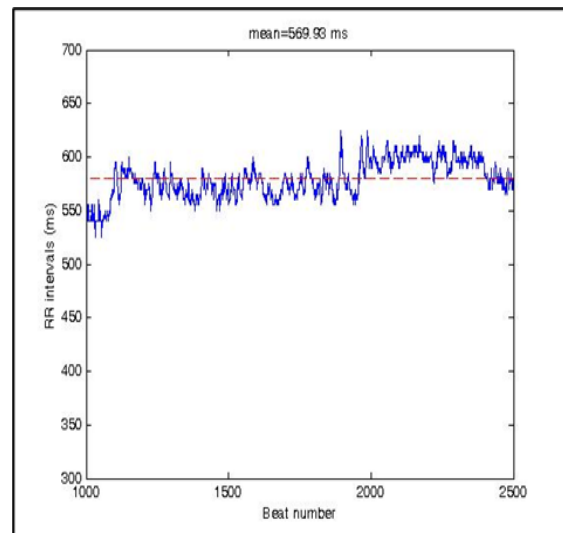
3. РЕЗУЛТАТИ

Резултатите в тази статия са базирани на регистрирани RR времеви интервални серии в състояние на покой и при стресова ситуация. Направени са два 30 минутни записи посредством холтерно устройство. Стресовата ситуация е симулирана чрез 3D играта Roller Coaster Apocalypse VR, като е използван виртуален шлем HMD Odyssey+. Шлемът има собствена операционна система, която допълва характеристиките на операционната система (Windows 10) и дава възможност за изживяване, както във виртуална реалност така и в добавена. Средната стойност на RR интервалите по време на покой е 622.39 ms (фиг. 3), а по време на стресова ситуация намалява до 569.93 ms (фиг. 4). Математическият анализ на ВСЧ е извършен чрез метода на Поанкаре. В състояние на

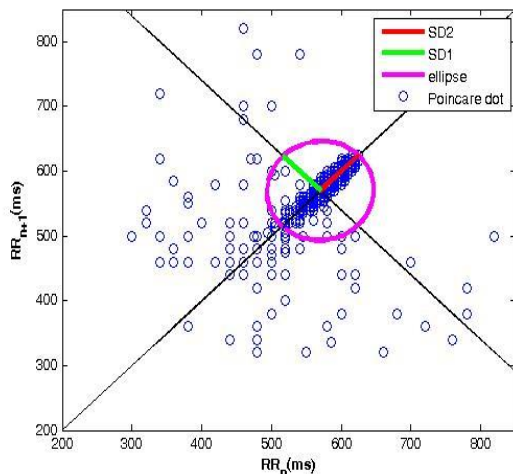
покой се забелязва, че графиката на Поанкаре има ясно изразена елипса, където параметъра SD2 показва дългосрочната вариабилност и той е по-голям от SD1, определящ краткосрочната стойност на ВСЧ (фиг.5). От друга страна по-време на стрес се наблюдава, че двата параметъра (SD1 и SD2) са почти равни, като графиката наподобява окръжност (фиг. 6). Отношението между краткосрочната и дългосрочната ВСЧ по време на стрес е 0.9735, докато в състояние на покой е 0.6548. Лицето на елипсите в двата случая се определя от формулата: $S=(SD1*SD2*\pi)/4$. По време на стрес двата параметъра, съответстващи на дължината и широчината на елипсата са приблизително равни и елипсата се доближава до кръг.



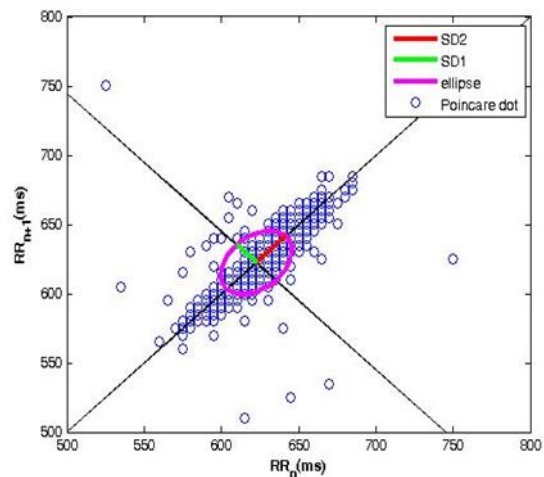
Фиг. 3. Времени интервали в покой



Фиг. 4. Времени интервали при стрес



Фиг. 5. Поанкаре по време на стрес



Фиг. 6. Поанкаре в покой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И БЪДЕЩА РАБОТА

В спорта, за да се предотвратят контузиите и за да се подобрят спортните постижения е необходимо изследване на ВСЧ, като по този начин ще се извърши мониторинг и ще се състави най-подходящата тренировъчна програма за спортиста. В настоящата статия е показано, че при стресова ситуация се променя ВСЧ, като средната продължителност на RR интервалните серии намалява. Чрез прилагането на метода на Поанкаре се извършва визуален анализ на ВСЧ, като построената графика може да бъде анализирана количествено чрез поставяне на елипса върху графичната форма. Елипсата се характеризира с параметрите: дължина и ширина. Дължината на елипсата отразява участието на недихателните компоненти при формирането на общата ВСЧ и се определя от параметъра $SD2$, а ширината на елипсата отчита дългосрочните вариации и демонстрира приноса на дихателните аритмии към общата ВСЧ и се определя от параметъра $SD1$.

Бъдещата работа ще продължи с изследване на ВСЧ на спортисти от леката атлетика. Един от подходите за прилагане на стресова ситуация при оценка на ВСЧ е чрез 3D стерео филм или 3D сериозна игра. В бъдещата работа за симулиране на стресови ситуации ще бъдат създавани 3D сериозни игри на базата на 3D системи с потапяне или/и без потапяне.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата изследователска работа е извършена като част от научен проект „Изследване на приложението на нови математически методи за анализ на сърдечни данни” № КП-06-N22/5, дата 07.12.2018 г., финансиран от Националния фонд за наука на България (BNSF).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Aubert, B. Seps, F. Beckers. (2003). “Heart Rate Variability in Athletes”, *Sport medicine*, 33(12), pp.889-919.
- [2] U.R. Ackharya, J. S. Suri, J.A.E. Spanq, S.M. Krishan. (2007). “Advances in Cardiac Signal Processing”. *Springer*.
- [3] G. Bogdanova, T. Todorov, N. Noev. (2013). “Digitization and 3D scanning of historical artifacts”. *Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage*, pp.133–138.
- [4] G. Bogdanova, N. Noev (2019). “Digitization and Preservation of Digital Resources and Their Accessibility for Blind People”. In *Cyber-Physical Systems for Social Applications; Dimitrova, M., Wagatsuma, H., Eds.*; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2019, pp. 184-206. Retrieved from <https://www.igi-global.com/book/cyber-physical-systems-social-applications/210606>. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7879-6.ch008>
- [5] K. Jinwu, Zh. Xiaopeng, Zh. Chi, L. Baicheng, (2014). “Application of 3D stereoscopic visualization technology in casting aspect”, *China Foundary*, pp. 308-313.
- [6] G. Ernst. (2014). “*Heart Rate Variability*”, London, Springer – Verlag.
- [7] A.H. Khandoker, C. Karmaker, M. Brennan, A. Voss, M. Palaniswami. (2013). “Poincare Plot Methods for Heart Rate Variability Analysis”. Springer New York Heidelberg Dordrecht London.
- [8] S.M. LaValle, (2016). “*Virtual Reality*”, Cambridge University Press, pp. 66-92, <http://vr.cs.uiuc.edu/>
- [9] A. Минковска, (2013). „Виртуалната Реалност–един нов поглед към съвременното обучение“. *Сн. „Математика и информатика“*, кн. 1, стр. 64 – 71.
- [10] S. Mirchev, 1998, “Variabilnost na sardechnata chestota I standarti za izmervane. – Sardechnosadovi zaboliavania”, br. 1 p. 28-35.
- [11] M. Mirza, A.N.K. Lakshami. (2012). “A Comparative Study of Heart Rate Variability in Diabetic Subjects and Normal Subjects”. – *International Journal of Biomedical and Advance Research*, vol. 3, No 8, 640-644

- [12] S. Morgan, A. Mora. (2017). “Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on sport Performance, a systematic Review”, *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 42, 235–245. DOI 10.1007/S10484-017-9364-2
- [13] E. Paunova, “Informazionnitate tehnologii v pomosht na izgrajdaneto na znanija” https://ejournal.vfu.bg/bg/pdfs/Elena_Paunova_Krasimira_Stoilova- Informatsionnitate_tehnologii_v_pomosht_na_izgrajdaneto_na_znaniya.pdf
- [14] S.D. Piovesan, L.M. Passerino, A.S. Pereira. (2012). “Virtual Reality as a Tool in the Education”. *IADIS International Conference and Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, Greece, pp. 295–298.
- [15] E. Petkov, (2010). “Educational Virtual Reality through a Multiview Autostereoscopic 3D Display”. *International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering - CISSE'09*, Bridgeport, USA. Published in: *Innovations in Computing Sciences and Software Engineering*, Springer, pp. 505-508.
- [16] V. Pantelidis. (2009). “Reason to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality”, *Themes in Science and Technology Education*, Special issue, pp. 59-77.
- [17] A. Pancheva, A. Mitev. (2012). “Dobavena realnost (Augmented Reality). Sashtnost I prilozenie”. *V nazionalna konferenzia “Obrazovaniето v informacionno obshtestvo”*, pp. 90-99.
- [18] R. L. Smith, E.R. Wathen, P.C. Abaci, N.H.V. Bergen, I. H. Law, M. D. Dick II, E. L. Connor. (2009). “Dove Analyzing Heart Rate Variability in infants Using Non – Linear Poincare Techniques”. *Computer in Cardiology*, 36, 673-876.
- [19] M. Malinska. K. Zużewicz, J. Bugajska, A. Grabowski (2015). “Heart Rate Variability (HRV) during virtual reality immersion”, *International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE*, vol. 21, No. 1, pp. 47-54, DOI:10.1080/10803548.2015.1017964
- [20] M. Gospodinov, K. Cheshmedzhiev. (2019). “Three-Sensor Portable Information System for Physiological Data Registration”. In *Proceedings of CompSysTech '19 Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies*, ACM New York, NY, USA, ISBN:978-1-4503-7149-0, DOI:<https://doi.org/10.1145/3345252.3345281>
- [21] K. Cheshmedzhiev, G. Georgieva-Tsaneva. (2018). “Obtaining the physiological data using the photoplethysmographic method”. *CBU International Conference Proceedings*, vol. 7, pp. 870-874. DOI: <https://doi.org/10.12955/cbup.v6.1265>
- [22] G. Georgieva-Tsaneva. (2019). “Investigation of Heart Rate Variability by Statistical Methods and Detrended Fluctuation Analysis”. *CBU International Conference Proceedings*, 7, 2019, DOI:10.12955/cbup.v7.1446, 729-734
- [23] E. Popovska, M. Gospodinov. (2019). “Computation of time series scaling exponent for electricity prices forecasting”. *CompSysTech'19: Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies*, June 2019, pp. 194–199. <https://doi.org/10.1145/3345252.3345267>
- [24] E. Popovska, M. Gospodinov, (2020). “Fractal Behavior in Bulgarian Day-Ahead Prices Based on Detrended Fluctuation Analysis”. In *processing: Scientific conference with international participation STEMEDU-2020*, Veliko Tarnovo, pp. 56-64.
- [25] E. Gospodinova, (2019). “Graphical Methods for Non-Linear Analysis of Electrocardiographic Data”. *CBU International Conference Proceedings 2019: Innovations in Science and Education*, Vol. 7, 864-869, <https://doi.org/10.12955/cbup.v7.1497>
- [26] E. Gospodinova, (2019). “Time Series Analysis Using Fractal and Multifractal Methods”. *CompSysTech '19 Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies*, ACM New York, NY, USA, ISBN:978-1-4503-7149-0, 188-193, <https://doi.org/10.1145/3345252.3345265>