

THE INFLUENCE OF VIRTUAL REALITY ON THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM

Penio Lebamovski

Institute of Robotics, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria

p.lebamovski@abv.bg

ВЛИЯНИЕ НА ВИРТУАЛНАТА РЕАЛНОСТ ВЪРХУ АВТОНОМНАТА НЕРВНА СИСТЕМА

Abstract: *This article presents a new way to research the autonomic nervous system (ANS), primarily for people who cannot undergo physical exercise due to health reasons. The main idea is to determine heart rate variability only through the ANS, which includes sympathetic and parasympathetic nerves. The proposed approach is related to using a Holter device to record the intervals between heartbeats and a 3D virtual reality device by applying a virtual helmet (Photontree Pro 3D). A spectral method was used for heart rate variability (HRV) analysis. During heavy physical work or sports (running), the autonomic nervous system (sympathetic nervous system) is activated, which decreases the HRV. Similar results are obtained when simulating a stressful situation through a 3D game. A 3D game was developed using the Java programming language (Java3D) for the conducted experiments. The article shows the results of the comparative analysis of two types of recordings: at rest and during a 3D game (virtual reality). From the obtained results, it can be seen that in a simulated stressful situation, the ANS changes, and from there, the HRV also changes.*

Keywords: *Virtual Reality, Heart Rate Variability, Autonomic Nervous System, Spectral Analysis, 3D Animation*

Въведение

Основен фактор, който оказва влияние върху вариабилността на сърдечната честота (ВСЧ) и автономната нервна система (АНС) е стресът. Той може да бъде предизвикан от емоционално състояние (разочарование, гняв, нервност) или

физическо напрежение или събитие. Стресът не е задължително да бъде само лош, той има и положителна страна тъй като кара тялото да отделя кортизол и адреналин, което в определени ситуации влияе положително на хората, като ги прави побдителни. Стресът повишава кръвното налягане и сърдечната честота в резултат на което се намалява ВСЧ. Научните изследвания, извършени с цел приложение на съвременни математически методи за анализ и оценка на въздействието на стреса върху ВСЧ се провеждат активно от научни колективи във всички развити страни по света [1], [3], [4], [5], [6], [8], [10], [13]. Една от приоритетните области на научните изследвания в съвременната неинвазивна кардиология е прилагането на математически методи за изследване влиянието на стреса върху сърдечната честота [2], [12], [14]. Чрез симулиране на стресова ситуация с помощта на виртуална реалност (VR) е възможно да се изследва кардиологичното състояние на пациент. Известно е, че динамичните характеристики на сърдечния ритъм позволяват да се оцени тежестта на промените в симпатиковата и парасимпатиковата активност на АНС, когато състоянието на изследвания субект се променя. Доказано е, че бързите промени (от 2 до 6 сек) се контролират от парасимпатикуса, а бавните промени (от 7 до 25 сек) от симпатикуса и парасимпатикуса, като водещата роля има симпатиковата нервна система. При активиране на парасимпатикуса, поради забавяне на пулса, интервалите между сърдечните удари нарастват, а оттук нараства и ВСЧ. Обратно, при активиране на симпатикуса поради ускоряване на пулса, интервалите се скъсяват и ВСЧ намалява.

В публикация [7] е описан експеримент върху възрастен човек за влиянието на стреса върху ВСЧ, който е предизвикан чрез сериозна игра. Описаната в публикацията система се състои от устройство за извършване на ЕКГ запис, софтуер за анализ и база данни за съхранение на резултатите. Резултатите от анализа показват, че сериозната игра оказва влияние върху ВСЧ на изследвания индивид. Документираните резултати от изследването на АНС по време на сериозната игра са следните: по време на игра се активира симпатиковата нервна система т.е. вариабилността се намалява. За описаните резултати от експеримента е използван спектрален анализ. По време на почивка има по-ниски стойности при ниски честоти (LF) и по-високи стойности при високите честоти (HF) т.е. активира се парасимпатиковата нервна система. Когато стойностите на LF се увеличават и HF намаляват по време на игра, то тогава се активира симпатиковата нервна система.

Известни са две техники при създаване на сериозни игри: посредством когнитивност и чрез отчитане реакцията на субекта. При когнитивния подход играещият трябва да отговаря на въпроси, като времетраенето на играта е между 8–10 минути. Втория тип игри изискват време за реакция по време на игра и те са по екстремални, като при тях е необходима точност и бърза реакция от играещия индивид. Ако играта е твърде екстремална, то тогава е необходимо да се правят по продължителни почивки.

Целта на статията е да се представи нова 3D екстремна игра, след което да се определи влиянието ѝ върху автономната нервна система. Да се извърши математически анализ на ЕКГ записи по време на игра и в състояние на пълен покой. Да се приложи статистически t -test метод за определяне на статистическа значимост на изследваните спектрални параметри.

Екстремна 3D игра

В статията е предложена нова екстремна 3D игра, която представлява летен над град (намиращ се до море) срещу астероиди движещи се с висока скорост. Основните компоненти на играта са: терен, сгради, асфалт, дървета, астероиди, кола и облаци. В играта има включена мултимедия, представляваща: звук, текст и анимация, както и комбинация между 2D и 3D съдържание. При създаването на екстремната 3D игра е приложена технологията виртуална реалност, като е използван шлем Photontree 3D Pro, който е монтиран на главата на потребителя. С помощта на използвания шлем при създаването на играта се постига по-реалистично изображение и от там по-голямо потапяне във виртуалната среда. Екранът на шлема се състои от 800-инчови оптични лещи на нано ниво, като широкият зрителен ъгъл прави изживяванията много завладяващи. Връзката между устройството (шлема) и компютъра става чрез HDMI and USB. Когато системата се използва за игри, резолюцията му е 2560x720 с плътност на пикселите 583PPi, което позволява визуализация на 3D графика, текст, текстура и различен на цвят материал. Ъгълът, който се създава е 90 градуса. Създадената 3D игра е подобна на IMAX3D кино, което означава, че може да се пресъздаде реалистично кино в домашни условия. Използваният шлем има следните характеристики:

- лек (190 грама) и удобен, като разполага с регулируема лента на главата;
- дисплеят на шлема може да се повдига нагоре, без да е необходимо устройството да се сваля;
- вратът на играещия индивид е напълно свободен, което му дава възможност да извършва и други дейности;
- шлемът работи без нуждата от инсталиране на допълнителен софтуер и настройки и е съвместим с Java3D.

Целта на създадената 3D игра с програмния език Java (Java3D) е да се симулира стресова ситуация. Симулираната ситуация се постига чрез задвижване на 3D камерата над града създавайки илюзията, че играещият лети. Един от основните компоненти на играта е реализирането на анимация. В играта са използвани следните начини за анимация:

- Използване на класовете от семейството на Pathinterpolator, които са част от стандартната Java3D API документация. Посредством тези

класове може да се извърши анимация посредством ротация, мащабиране и трансляция. Това се прилага при смяната на местоположението на обекта, неговия мащаб и завъртане и по този начин се извършва анимация (самото раздвижване на обекта). Тук е възможно оказването на стартовата и крайна стойност на трансформацията, като се подбира най-подходящия клас. В настоящата игра са използвани следните два класа: Position Path Interpolator и Spline Interpolator. Чрез първият клас обектите биват задвижени линейно. Анимацията може да се осъществи и чрез прилагане на сплайн крива, като по този начин се задвижва камерата на приложението. Това става чрез класа с RotPosScaleTCBSplinePathInterpolator;

- Чрез класа morph се дава възможност за анимация посредством морфизъм. Тази техника позволява преминаването от една форма към друга. Обикновено това се реализира чрез масив.

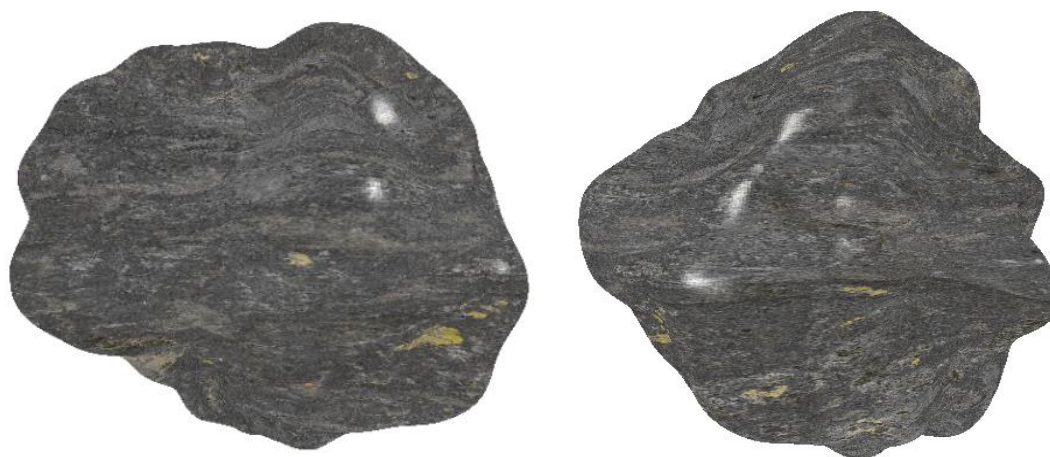
Използваните начини за анимация в играта предоставят възможност скоростта на движението да бъде регулирана. Това става посредством класа от Java3D известен под името Alpha. За моделирането на неподвижните обекти в играта (например сградите) е използвана библиотеката Buildify и програмата за моделиране – Blender версия 3.2.0. С помощта на класа Shape3D от Java3D API се създават потребителски примитиви базирани на (линия, триъгълник, четириъгълник и полигон с повече от три върха), както и външния вид и геометрията на обектите. За разработката на играта са използвани съответно примитивите триъгълник и четириъгълник. Като например асфалта представлява два правоъгълника, а част от сградите са кубоиди на базата на триъгълници. Морето и пясъка представляват модифициран чрез Blender четириъгълник.

За визуализация на обектите са използвани следните характеристики:

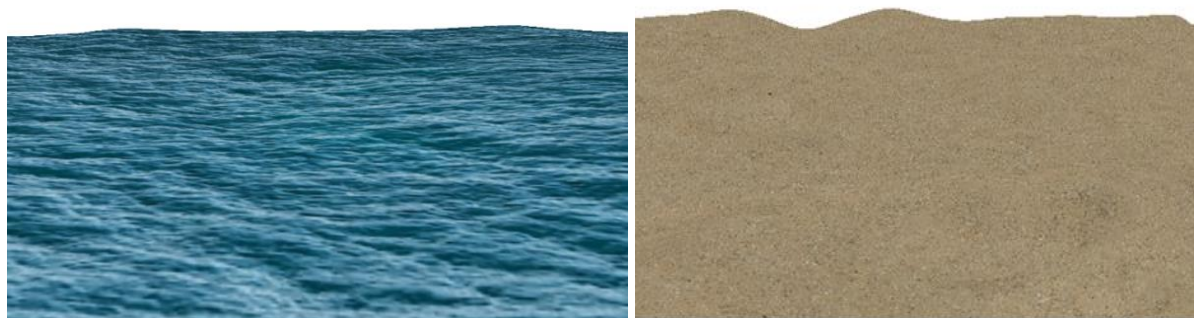
- Текстура - добавяне на изображение за визуално представяне на 3D обект;
- Материал - дава възможност да се оцвети обекта;
- Светлина - в Java3D има 4 вида светлинни източника, както и възможност за комбинация между тях;
- Нормала – участва при светлината и оцветяването.

Зареждането на .obj файловете става чрез стандартния за Java3D loader. Той дава възможност за прочитане на информация от .mtl файла. В играта раздвижването на обекта (например морето) става посредством морфизъм. За тази цел първо биват генерирани четири .obj файла посредством Blender, последвано от преобразуване до Java3D обект. Окончателният вариант на анимираният обект в случая морето е записан като последен елемент на масива. Накрая се определят визуалните характеристики на обекта, като текстура и материал. Посредством класа Position Path Interpolator са задвижени използваните обекти в играта (например: облаците над

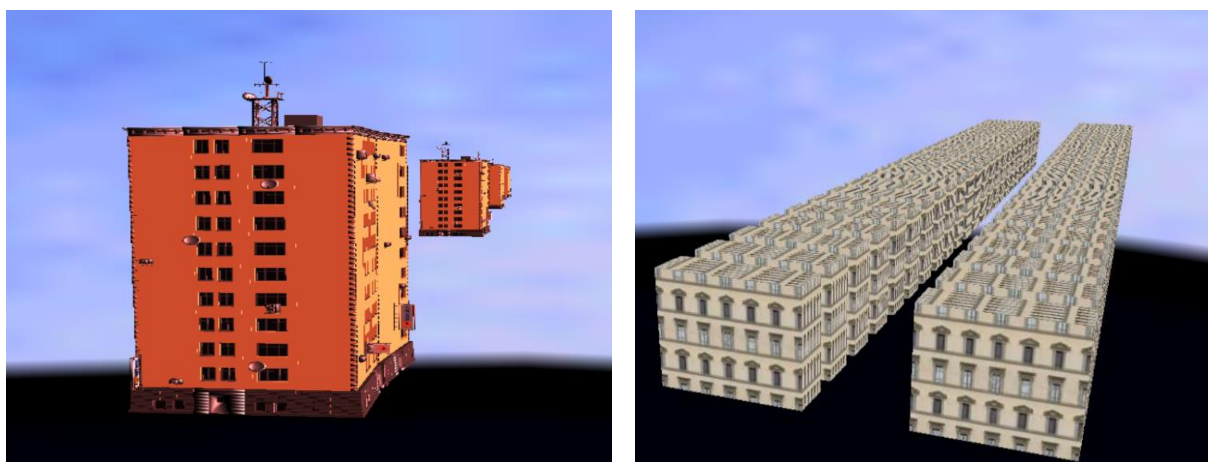
града, колата движеща се върху асфалт, астероидите летящи срещу камерата на приложението и др.). На фигура 1 е визуализиран астероид генериран чрез програмата за 3D моделиране – Blender версия 3.2.0. Той представлява модифицирана сфера. На фигура 2 е представен терен представляващ пясък и до него море. И двата обекта са модифициран четириъгълник чрез Blender. За извършване на анимацията е използван морфизъм и Java3D. На фигура 3 са представени две възможности за конструиране на сгради: чрез библиотеката Buildify version 1.0. и Blender и посредством кубоид и текстура чрез Java3D. На фигура 4 е визуализирано движението на камерата на приложението чрез прилагането на сплайн крива. Някои от текстурите са взети от следните сайтове: vecteezy.com и ambientcg.com.



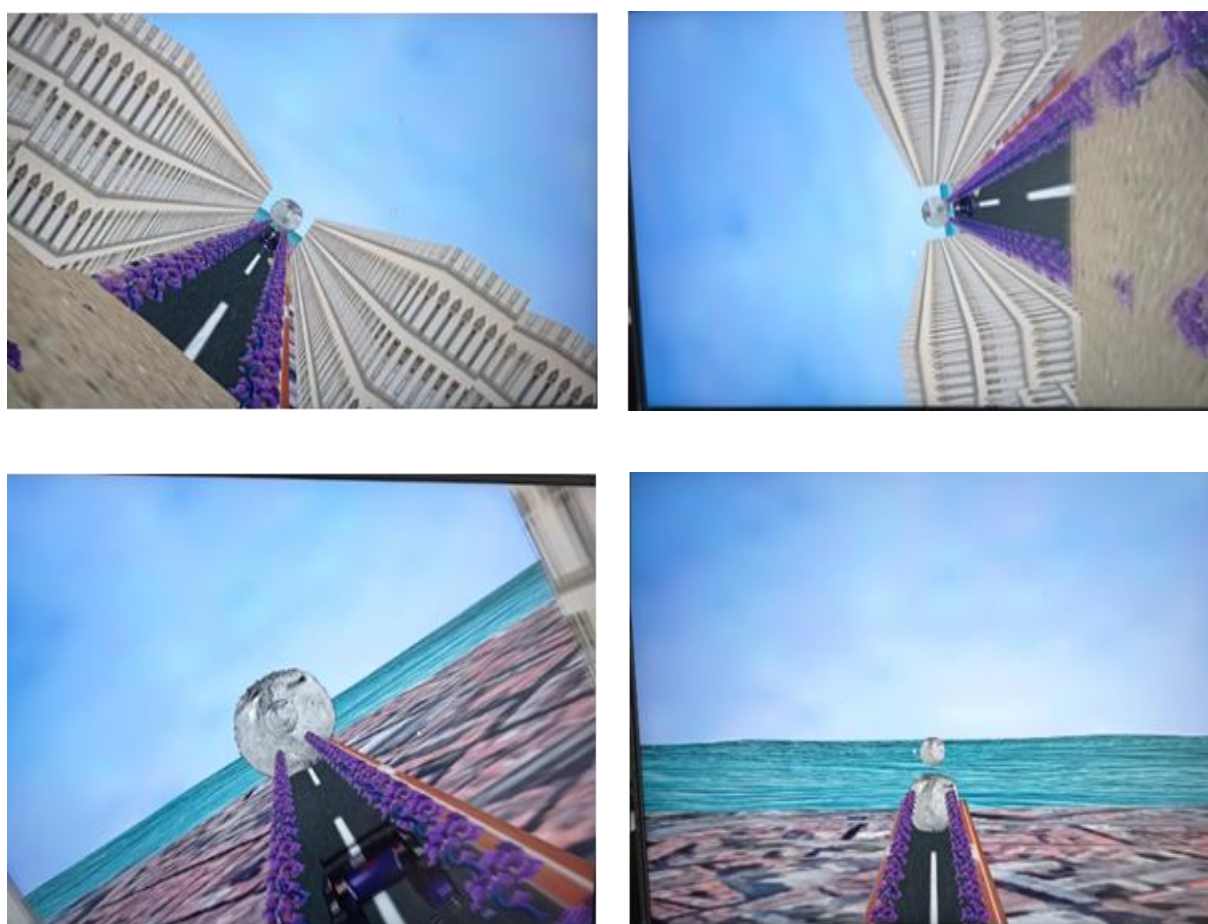
Фигура 1. Модификация на сфера (астероид)



Фигура 2. Модифициран четириъгълник (море и пясък)



Фигура 3. Сгради, конструирани чрез Buildify и Java3D (екструдирани и геометрия)



Фигура 4. Компоненти на 3D играта и задвижена камера чрез прилагане на сплайн крива

Спектрален анализ

За математическия анализ на ВСЧ в тази статия е използван спектрален анализ [9]. Този анализ предоставя информация за разпределението на енергията на сигнала като функция от честотата. Методите за изчисление на спектралната плътност (PSD- Power Spectral Density) са обединени в два класа: непараметрични и параметрични [2], [14]. Бързата трансформация на Фурие (Fast Fourier Transform-FFT) е

представител на непараметричните методи. Посредством този метод, спектърът се изчислява като се използва Welch периодограмата. RR данните се разделят на покриващи се сегменти, като прекриването е фиксирано на 50%. При анализирането на непериодични сигнали, каквито са RR интервалите, се появява грешка „размиване на спектъра“. Размиването се изразява в подвеждаща информация по отношение на спектралните амплитуди и честоти при анализ на данните в честотната област. За да се намали ефекта от него се прилагат прозоречни функции. Този метод използва прозоречната функция на Henning. FFT спектъра се изчислява за всеки прозоречен сегмент, като накрая спектърът на сегмента се усреднява. Основните спектрални компоненти при анализа на пет минутни сегменти за кардиологичен запис са следните [11]:

- HF – висока честота (0.15 - 0.4 Hz)
- LF – ниска честота (0.04 – 0.15 Hz)
- VLF – много ниска честота (0.017 – 0.04 Hz)

В Таблица 1 е представен списък на честотните компоненти (LF и HF) и референтните стойности за тях, съгласно приетия през 1996 г. стандарт [11].

Параметър	Нормални стойности (ср.стойност±стандартно отклонение)
LF [nu]	54±4
HF [nu]	29±3
LF/HF отношение	1.5±2.0

Таблица 1. Нормални (референтни) стойности на параметри при спектрален анализ [11]

Резултати

В статията са показани резултатите от спектралния анализ на следните 2 групи сигнали:

- RR серии, регистрирани на 7 пациента в състояние на пълен покой;
- RR серии, регистрирани на 7 пациента по време на 3D екстремна игра.

На всички изследвани лица са направени 5-минутни ЕКГ записи, а резултатите са показани като средна стойност±стандартно отклонение. Статистическият анализ е направен с t-test.

В Таблица 2 са показани стойностите за изследваните параметри за двете групи сигнали: по време на покой и по време на игра. По време на покой преобладава парасимпатиковата нервна система. Докато при стресова ситуация (виртуална реалност) се активира симпатиковата нервна система. Въз основа на получените резултати могат да се направят следните констатации:

- Енергията на сигнала, измерена в нормализирани единици при ниски честоти е по-ниска в състояние на покой в сравнение с тази по време на игра;

- Енергията на сигнала, измерена в нормализирани единици при високи честоти е по-висока в състояние на покой в сравнение с тази по време на игра;
- По време на покой, енергията на сигнала за двата вида честоти е в границите на референтните стойности, съгласно стандарт [11]. Стойностите за тези две честоти са извън референтните по време на игра, което се дължи на ускорената сърдечна честота;
- Отношението LF/HF в състояние на покой е в границите на референтните стойности, докато по време на игра е извън тези граници;
- Изследваните две групи сигнали имат статистическа значимост, защото p-value е по-малко от 0.05, следователно спектралният анализ може да се прилага за разграничаването на двата вида сигнали.

На базата на тези констатации може да се обобщи, че по време на 3D игра се повишава сърдечната честота, следователно със създадената игра се симулира стресова ситуация и може да се използва при изследване на ВСЧ.

Параметър	Група 1 (ср.стойност±стандартно отклонение)	Група 2 (ср.стойност±стандартно отклонение)	p-стойност
LF [nu]	50.92±1.43	66.91±2.01	<0.0001
HF [nu]	29.91±0.85	25.81±0.80	<0.0001
LF/HF отношение	1.73±0.25	2.61±0.18	0.0002

Таблица 2. Сравнителен анализ между две групи хора: Група 1 (покой) and Група 2 (стрес) чрез прилагане на спектрален анализ

Заклучение

Днес вече е възможно чрез използването на 3D технологиите да се подпомогне анализа на кардиологични данни. Тук е необходимо съвместното участие на програмисти и лекари с цел поставянето на точна диагноза и правилно лечение. В тази статия е представена нова екстремна 3D игра, симулираща стресова ситуация. От получените резултати се наблюдава, че при стресова ситуация (виртуална реалност) сърдечната честота се ускорява, ВСЧ намалява като се активира симпатиковия дял от автономната нервна система. Играта е създадена чрез програмния език Java (Java3D), като е разработена специално за изживяване във виртуална реалност чрез система с потапяне, осъществена с виртуален шлем Photon Tree 3D Pro. Спектралният анализ на интервалите между сърдечните удари допринася за получаване на обективна информация за кардиологичното здраве. Количествените измерения на изследваните със спектралния анализ три параметъра: LF, HF и LF/HF отношение имат значимо клинично приложение, защото са известни границите норма-патология. Изследваните параметри имат статистическа значимост, определена чрез t-test, тъй като стойността на p е по-малка от 0.05.

Благодарности

Научното изследване е проведено като част от проекта „Изследване на приложението на нови математически методи за анализ на кардиологични данни“ №КП-06-Н22/5 от 07.12.2018 г., финансиран от Фонд „Научни Изследвания“.

References // Literatura

- [1] Dong, S.Y.; Lee, M.; Park, H.; Youn, I. (2018). “Stress Resilience Measurement With Heart-Rate Variability During Mental And Physical Stress”. 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Honolulu, HI, USA, pp. 5290-5293, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513531>
- [2] Ernst, G. (2014). “Heart Rate Variability”, Springer – Verlag London, 2014.
- [3] Georgieva-Tsaneva, G. (2023). “Interactive Cardio System for Healthcare Improvement”. Sensors, 23, 1186, MDPI, 2023, ISSN:1424-8220, pp. 1-21, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23031186>
- [4] Georgieva-Tsaneva, G. (2021). “Simulation of long-term Heart Rate Variability records with Gaussian distribution functions”. In Proceedings of the 22nd International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, ISBN:978-1-4503-8982-2, pp. 156–160, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1145/3472410.3472439>
- [5] Gospodinova, E. (2022). “Fractal Time Series Analysis by Using Entropy and Hurst Exponent”. In Proceedings of the 23rd International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, ISBN: 978-1-4503-9644-8, pp. 69–75, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1145/3546118.3546133>
- [6] Gospodinova, E.; Gospodinov, M.; Negreva, M. (2020). “Nonlinear Dynamics Methods for Analysis of ECG Signals”. In Proceedings of the 21st International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, ISBN:978-1-4503-7768-3, pp. 194–200, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1145/3407982.3408000>
- [7] Hou, C.-J.; Chen, Y.-T.; Capilayan, M.; Lin, Y.-S.; Huang, M.-W.; Huang, J.-J. (2021). “Analysis of Heart Rate Variability in Response to Serious Games in Elderly People”, Sensors 2021, 21, 6549, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21196549>
- [8] Kim, J.-Y.; Kim, H.-S.; Kim, D.-J.; Im, S.-K.; Kim, M.-S. (2021). “Indetification of video game addiction using Heart Rate Variability Parameters”. Sensors 2021, 21, 4683, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21144683>

- [9] Kumar, D.M.; Prasannakumar, S.C.; Sudarshan, B.; Jayadevappa, D. (2013). “Heart Rate Variability Analysis: A review”. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, No. 6, pp. 9-24, 2013.
- [10] Lee, S.; Hwang, H.B.; Park, S.; Kim, S.; Ha, J.H.; Jang, Y.; Hwang, S.; Park, H.-K.; Lee, J.; Kim, I.Y. (2022). “Mental Stress Assessment Using Ultra Short Term HRV Analysis Based on Non-Linear Method”, *Biosensors* 2022, 12(7), 465, 2022. <https://doi.org/10.3390/bios12070465>
- [11] Malik, M. (1996). “Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use”. *Circulation*, 93: 1043-1065, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- [12] Marchev, S. (1998). “Heart rate variability – standards of measurement” (in Bulgarian), *Cardiovascular disease*. Vol. 1, pp. 28-35, 1998.
- [13] Patil, K.; Singh, M.; Singh, G.; Anjali; Sharma, N. (2015). “Mental Stress Evaluation using Heart Rate Variability Analysis: a Review”, *International Journal of Public Mental Health and Neurosciences*, Vol. 2, Iss. 1, ISSN: 2394-4668, 2015. <http://www.sarvasumana.in/files/13.pdf>. (last view: 24-03-2023)
- [14] Rajendra, U.R.; Suri, J.S.; Spaan, J.A.E.; Krishnan, S.M. (2007). “Advances in Cardiac Signal Processing”, Springer, 2007.

Received: 02-04-2023

Accepted: 29-06-2023

Published: 24-07-2023

Cite as:

Lebamovski, P. (2023). “The Influence of Virtual Reality on the Autonomic Nervous System”, *Science Series “Innovative STEM Education”*, volume 05, ISSN: 2683-1333, pp. 35-44, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55630/STEM.2023.0505>