

ДИГІТАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ І ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЯ: КЛІНІЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

В.К. Тащук, М.В. Тащук, П.Р. Іванчук

Вищий державний навчальний заклад України "Буковинський державний медичний університет", м. Чернівці

Ключові слова:
ішемічна хвороба
серця, варіа-
бельність серце-
вого ритму, фо-
топлетизмографія,
гіпертонічна
хвороба, гостре
порушення
мозкового
кровообігу.

Клінічна та
експериментальна
патологія Т.18, №2
(68). С.80-85.

DOI:10.24061/1727-
4338.XVIII.2.68.2019.241

E-mail:
paulivanchuk2005
@gmail.com

Мета роботи - порівняти можливості визначення варіабельності частоти пульсу (ВЧП) під час реєстрації фотоплетизмографії (ФПГ) на смартфоні з розрахунком показників варіабельності серцевого ритму (ВСР) при цифровому аналізі ЕКГ. Дослідити зміни параметрів ВСР залежно від констеляції діагнозів ішемічної хвороби серця (ІХС) з гіпертонічною хворобою (ГХ) та її ускладненням - гострим порушенням мозкового кровообігу (ГПМК) та оцінити інформативність отриманої ВЧП проти розрахунку ВСР по ЕКГ.

Матеріал і методи. Було обстежено 39 пацієнтів з діагнозами стабільна стенокардія II-III функціонального класів (СтСт) з, або без супутньої ГХ; з них 13 мали ускладнення у вигляді ГПМК.

Результати. Встановлено, що варіабельність серцевого ритму, залежно від методу оцінки - при реєстрації ВЧП чи розрахунку ВСР немає розбіжностей відповідно до показників SDNN і rMSSD. Вагус-опосередковані зміни ВСР у короткостроковому періоді більш виражені для ішемічної хвороби серця і гіпертонічної хвороби (pNN50). Доведено виснаження реактивності за ІХС і ІХС з ГХ проти приседання її ускладнення - ГПМК згідно із зменшенням амплітуди низькочастотних показників варіабельності серцевого ритму (LF).

Висновки. Отже, коли ми потребуємо метод швидкого аналізу біля ліжка хворого та інтерпретації отриманих результатів, використання з цією метою смартфона може бути ефективним, різноманітність програмного забезпечення є достатньою, а можливість самостійного використання пацієнтом є важливою. Використання програми власного аналізу "Smart-ECG" потребує подальших досліджень і впровадження.

Ключевые слова:
ишемическая
болезнь сердца,
вариабельность
сердечного
ритма, фотоп-
летизмография,
гипертоническая
болезнь, острое
нарушение
мозгового
кровообращения.

Клиническая и
экспериментальная
патология Т.18, №2
(68). С.80-85.

ДИГІТАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ І ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЯ: КЛІНІЧЕСЬКЕ ВНЕДРЕННЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛІЗУ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

В.К. Тащук, М.В. Тащук, П.Р. Іванчук

Цель работы - изучение возможности определения вариабельности частоты пульса (ВЧП) при регистрации фотоплетизмографии (ФПГ) на смартфоне, по сравнению с расчетом показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) при цифровом анализе ЭКГ. Исследовать изменения параметров ВСР в зависимости констелляции диагнозов ишемической болезни сердца (ИБС) с гипертонической болезнью (ГБ) и ее осложнений - острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) и оценить информативность ВЧП в сравнении с расчётом ВСР по ЕКГ.

Материал и методы. Обследовано 39 пациентов с диагнозами стабильная стенокардия II-III функционального класса (СтСт) с или без сопутствующей ГБ, из них 13 имели осложнения в виде ОНМК.

Результаты. Было установлено, что при анализе ВСР, в зависимости от метода оценки - при регистрации ВЧП или расчета ВСР по ЭКГ нет разногласий по показателям SDNN и rMSSD. Вагус-опосредованные изменения ВСР в краткосрочном периоде более выражены для ишемической болезни сердца и гипертонической болезни (pNN50). Доказано истощения реактивности по ИБС и ИБС с ГБ против присоединения ее осложнения - ОНМК по уменьшению амплитуды низкочастотных показателей вариабельности сердечного ритма (LF).

Выводы. Когда мы нуждаемся в методе быстрого анализа у постели больного и интерпретации полученных результатов, использование с этой целью смартфона может быть эффективным, разнообразие программного обеспечения является достаточным, а возможность самостоятельного использования пациентом важна. Использование собственного анализа "Smart-ECG" требует дальнейших исследований и внедрений.

DIGITALIZATION OF ELECTROCARDIOGRAPHY AND PHOTOPLETHYSMOGRAPHY: CLINICAL IMPLEMENTATION OF A QUANTITY ANALYSIS OF THE HEART RHYTHM

V.K. Tashchuk, MV Tashchuk, P.R. Ivanchuk

In order to study the possibility of determining the pulse variability (PV) when analysed photoplethysmography (PPG) recorded by smartphone compared to the calculation of cardiac heart rate variability (HRV) when analyzed digitalized ECG, and the objectification of HRV depending on the constellation of diagnosis of coronary heart disease (CHD) with or without arterial hypertension (AH) and its complication - acute cerebrovascular disorder (ACD) and comparison of the informativeness of the PV and HRV calculation.

Material and methods. 39 patients with diagnoses stable angina II-III functional classes (StA) with, or without associated AH. 13 of them had complications in the form of ACD.

Results. It was found that HRV, depending on the method of assessment, for registering a PV or recording digitalized ECG does not differ according to the SDNN and rMSSD indices. Vagus-mediated changes in HRV in the short term are more pronounced for coronary heart disease and hypertension (pNN50). The depletion of reactivity for CHD with or without AH has been proved, in contrast to patients with ACD according to the decrease in the amplitude of low frequency heart rate variability (LF).

Conclusions. So, when we need a quick analysis method at the patient's bed with interpretation of the results, using a smartphone for this purpose can be effective, the variety of software is sufficient, and the possibility of using this method by the patient is important. The using of the Smart-ECG own software requires further research and implementation.

Key words:

ischemic heart disease, heart rate variability, photoplethysmography, arterial hypertension, acute cerebrovascular disorder.

Clinical and experimental pathology. Vol.18, №2 (68). P.80-85.

Вступ

У базі даних PubMed на 2019 рік з тегом "варіабельність серцевого ритму" (ВСР) припадає 23.875 публікацій і 412 - "фотоплетизмографія" (ФПГ), в тому числі з допомогою смартфона, оскільки вимірювання ФПГ на смартфоні є економічно обгрунтованою, доцільною і порівняльною методологією з автономними системами девайсів та датчиків [3], приріст досліджень ВСР за останній рік склав для ВСРΔ +1.682, а для ФПГ - Δ+58 в системі PubMed, отже, в останні роки актуальним стає зіставлення дослідження ФПГ з допомогою смартфонів і електрокардіограми (ЕКГ) стосовно оцінки ВСР та навіть впроваджується новий термін "варіабельність частоти пульсу" (ВЧП) [7, 9], а журнал "TheWallStreetJournal" 2017 року надрукував статтю з промовистою назвою "Яка ваша варіабельність серцевих скорочень? Час дізнатися" [14]. На основі існуючих способів графічного аналізу ВСР наразі представлене апаратне забезпечення для її оцінки [10].

Порівняння параметрів ВЧП при реєстрації ФПГ на смартфоні і розрахунку ВСР за даними запису ЕКГ засвідчує, що найбільш доступним способом отримання даних ВСР є якраз використання смартфонів із встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням. Дані літератури показують, що середнє відхилення між ФПГ/ЕКГ для оцінки ВСР/ ВЧП має незначні розбіжності для показників RR (0,01-0,06 мс), SDNN (0,78-0,46 мс), RMSSD (1,79-1,21 мс), pNN50 (2,43-1,63%) [5]. Програмне забезпечення оцінки ФПГ пов'язується із впровадженням систем "AppleWatch", "HRV4Training", "Welltory", "Elite HRV", "ВитаПульс 2.3.2" тощо. Дослідження провадяться переважно у пацієнтів з ішемічною хворобою серця (ІХС) [4] та з гіпертонічною хворобою (ГХ) [10].

Мета дослідження. Вивчити можливість визначення ВСР при реєстрації ФПГ на смартфоні та об'єктивізува-

ти ВСР залежно від констеляції діагнозів ішемічної хвороби серця (ІХС) з гіпертонічною хворобою (ГХ) та її ускладненням - гострим порушенням мозкового кровообігу (ГПМК) при реєстрації ВЧП за ФПГ і ВСР за ЕКГ.

Матеріал і методи дослідження

Групу дослідження сформували з 39 хворих стосовно розподілу діагнозів: 16 хворих на ІХС (стабільна стенокардія (СтСт) II-III функціонального класів (ФК)), 10 - на ІХС (СтСт II-III ФК) і ГХ II стадії (ст) та 13 - на ІХС (СтСт II-III ФК) і ГХ III ст з ГПМК. Усім хворим виконана реєстрація ФПГ (2 хв) на смартфоні з використанням програми "HeartRateVariability HRV Camera для Android" (freeware) порівняно з власним програмним забезпеченням "Smart-ECG" [1] при реєстрації ЕКГ упродовж 30 с за допомогою апарата "Easy ECG Monitor Prince 180B" ("HealForce", КНР).

У 12 хворих з діагнозом ІХС та ІХС і ГХ під час лікування у стаціонарі об'єктивізовано виникнення частоті шлуночкової екстрасистоїї, що ускладнила перебіг захворювання, а отже, у них досліджено вплив аритмії та медикаментозних засобів (Кордарон (6 хворих) проти Кордарон і Тіворель (6 хворих)) з аналізом показників ФПГ (смартфон) і ВСР (ЕКГ) перед використанням досліджуваного препарату та на висоті його дії (внутрішньовенне введення).

Статистичний аналіз містив вибіркоче середнє значення, стандартну похибку середнього, достовірність розбіжностей кількісних параметрів при перевірці "нульової" гіпотези із застосуванням парного t-критерію Student для двох залежних/незалежних вибірок та нормального розподілу масивів, t-критерію Wilcoxon - при розподілі, що відрізнявся від нормального, використано побудову емпіричного рівняння регресії і досліджено відношення шансів (ВШ).

Результати та їх обговорення

Дослідження біоритміки серцевих скорочень стосувалось об'єктивізації стану ВСР при проведенні ЕКГ з використанням системи "Smart-ECG" та ВЧП при реєстрації ФПГ програмними можливостями смартфона засвідчило про об'єктивність для ФПГ порівняно з традиційною оцінкою ВСР за ЕКГ. Зокрема, під час оцінки ВЧП/ВСР виявлялись незначні вихідні розбіжності для показників SDNN (35,33+2,82 проти 37,27+6,56 мс, $p>0,5$), rMSSD (59,31+5,59 проти 54,66+10,37 мс, $p>0,5$) на відміну від pNN50 (35,46+3,62 проти 18,44+4,07%, $p<0,005$), як зазначено на рисунку 1.

Отже, виявлено, що показник SDNN, який відображає стандартне відхилення RR інтервалів та широко використовується в якості прогнозатора несприятливих

подій і є еквівалентним загальній потужності в спектральному аналізі та відображає усі циклічні компоненти, що формують ВСР, є подібним за вимірювання короткочасних ділянок ФПГ (2 хв) і ЕКГ (30 с). Аналогічно, показник rMSSD, як квадратний корінь середньої суми квадратів різниці сусідніх RR інтервалів, що використовується для оцінки високочастотних параметрів ВСР, є одним з основних показників вагус-опосередкованих змін і демонстрував однакове спрямування з визначенням за ФПГ (смартфон) і ЕКГ. Відомо, що rMSSD і SDNN є більш надійними для записів з ультракороткою тривалістю на всіх часових інтервалах (значення r від 0.764 до 0.950, $p<0.05$) [13]. Результати [12] показали, що ультракороткий аналіз частоти серцевих скорочень і інтервалів RR протягом 10 с, RMSSD і PNN50 - протя-

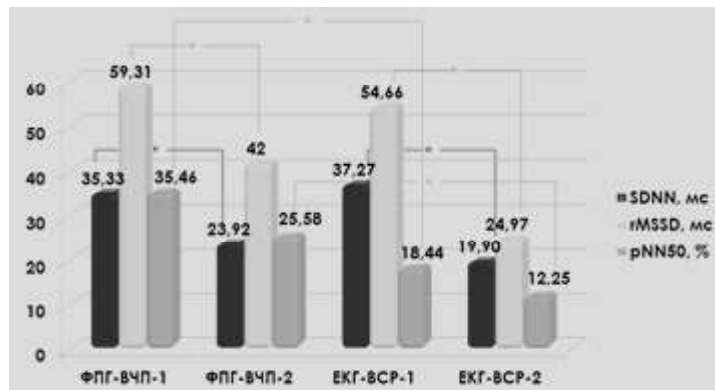


Рисунок 1. Варіабельність частоти пульсу при фотоплетизмографії проти варіабельності серцевого ритму при електрокардіографії згідно з показниками SDNN (мс), rMSSD (мс), pNN50 (%)

гом 30 с, HF - протягом 40 с, LF/HF, нормалізована LF і нормалізована HF - протягом 50 с могли бути надійно виконані для моніторингу стресу. Викликає питання розбіжність у власному дослідженні для показника pNN50 відносно різниці між сусідніми RR-інтервалами, що відрізняються більше, ніж на 50 мс, який пов'язаний з активністю парасимпатичної нервової системи і є маркером при аналізі саме короткочасних ЕКГ.

Водночас найважливішим є суттєве спільне для ФПГ і ЕКГ значне зменшення показника SDNN, який використовується в якості прогнозатора несприятливих подій, оскільки відомо [8], що ризик смерті у 5,3 раза є більшим при SDNN <50 мс, ніж >100 мс, - привертає увагу суттєве зниження цього показника за обох методів - ФПГ з смартфона (35,33 мс) і "Smart-ECG" (37,27 мс), у сьогоденній кардіології пригнічення SDNN <70 мс або <50 мс вважається [9] негативно пов'язаним зі зниженням фракції викиду при інфаркті міокарда, хоч і криві виживання Каплана-Мейера для смертності від усіх причин і для кардіальної смертності не виявили в цьому дослідженні значних відмінностей між пацієнтами із SDNN у нижньому квартилі ($p=0,137$) та інших квартилях для розподілу SDNN.

А отже, привертає увагу достовірне зменшення показника SDNN при розвитку шлуночкової екстрасистолії, незважаючи на лікування останньої, що реєструвалось (рис. 1) для ФПГ (з 35,33+2,82 до 23,92+2,82 мс, $p<0,01$) і згідно з ЕКГ (з 37,27+6,56 до 19,90+1,16 мс, $p<0,02$), а отже, приєднання аритмій вказує на додатковий ризик, оскільки відомо [6], що факторами ризику,

згідно з аналізом ВСР, є зниження SDNN<100 мс і rMSSD<15 мс і більше подій реєструється в групі шлуночкової тахікардії і зниження SDNN, ніж у групі нормального рівня SDNN (15,5 проти 0,0%, $p=0,04$).

У власному дослідженні виявлено, що вагус-опосередковані зміни ВСР у короткостроковому періоді більш виражені для ІХС і ГХ (pNN50, як відсоток різниці між сусідніми RR-інтервалами, що відрізняються більше, ніж на 50 мс, становив 49,30+6,01%), ніж для ІХС (pNN50 27,56+5,19%, $p<0,02$), як наведено на рисунку 2, водночас при виснаженні ВСР за ІХС відповідно до збільшення стрес-індексу, який дає змогу визначити рівень напруги та централізації керування серцевим ритмом (SI - 181,19+44,21 $1/c^2$ на відміну від поєднаного перебігу ІХС і ГХ - 82,00+20,87 $1/c^2$, $p<0,05$) та прогностичного фактора аритмогенезу внаслідок зростання триангулярного індексу (рис. 3), як інтеграла щільності розподілу (загальної кількості кардіоінтервалів) відносно максимуму щільності розподілу (АМо) (триангулярна інтерполяція гістограми інтервалів RR) при констеляції ІХС і ГХ (HRVI - 5,00+0,51 Од проти ізольованої ІХС - 3,50+0,36 Од, $p<0,05$), та виснаження реактивності за ІХС та ІХС і ГХ з розвитком ГПМК проти ІХС і ГХ відповідно до зменшення амплітуди низькочастотних показників (LF - 80,66+32,00 ($p<0,05$) і 55,79+18,53 ($p<0,02$) проти 242,10+69,66 mc^2), як представлено на рисунку 4.

Ефективність комбінації Кордарону і Тіворелю, згідно з аналізом SDNN, переважала над ізольованим Кордароном при співвідношенні шансів з ВІШ 2,50
Клінічна та експериментальна патологія. 2019. Т.18, №2 (68)

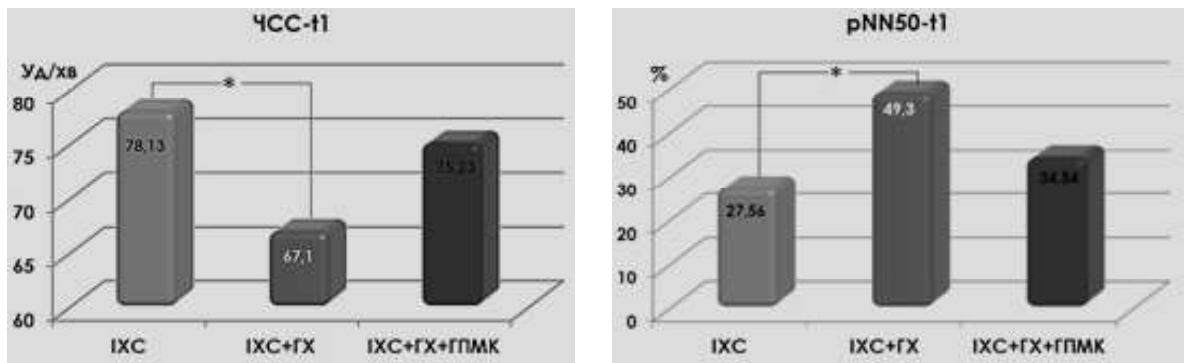


Рисунок 2. Обмеженість хронотропного резерву (ЧСС) і вагус-опосередковані зміни ВСР (рNN50) в короткостроковому періоді

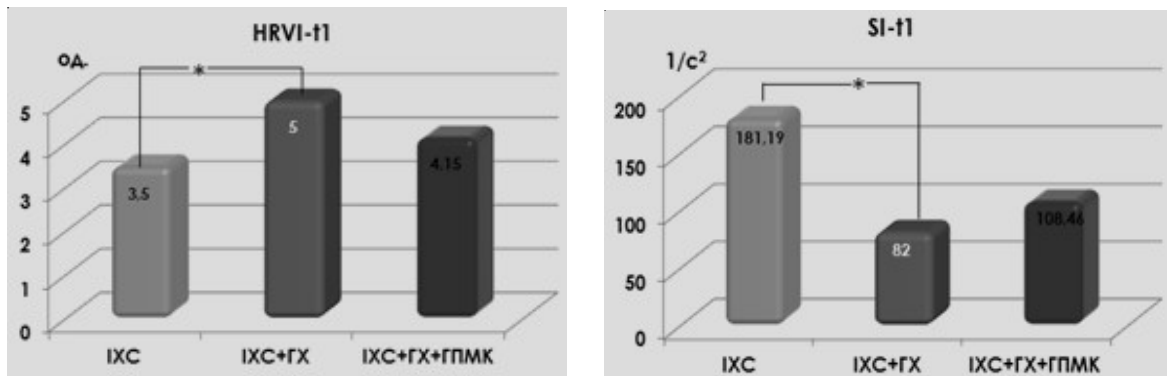


Рисунок 3. Виснаження ВСР за IХС (збільшення стрес-індексу) і прогностичний фактор розвитку аритмії (збільшення триангулярного індексу)

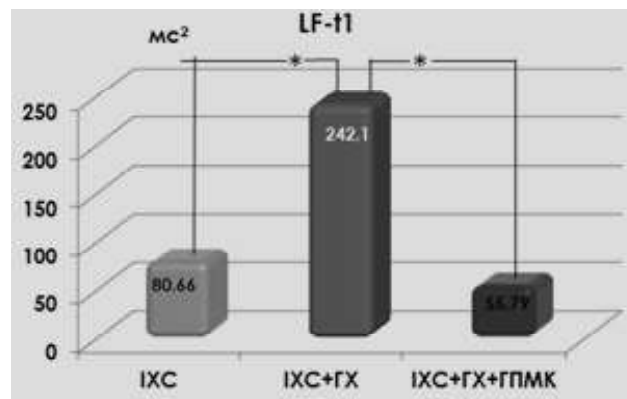


Рисунок 4. Виснаження реактивності за оцінки ВСР (зменшення амплітуди низькочастотних показників (LF))

[0,16-38,60] (прогностична цінність позитивного результату 2,0). Оцінка ефективності дії препаратів, відповідно до змін показника SDNN, є важливою з огляду на дослідження [11] про обернений зв'язок зменшеної ВСР і IХС, оскільки кожні 10 мс збільшення SDNN зменшують ризик IХС на 9% ($p=0,023$).

Отже, постає питання, чи потребуємо оговорювати наші можливості дослідження ВСР - так, ArgiMinasian[2] зазначає у межах проведення дослідження MarineResiliencyStudyTeam у 2430 морських піхотинців, що ВСР - це один із способів вимірювання здоров'я і придатності до боротьби, а в дослідженні "VA San Diegostudyonheartratevariability" також взяли участь чотири батальйони морської піхоти, що і підкреслює важливість пошуку нових методів оцінки ВСР, навіть у такої важкої групи для оцінки стану здоров'я, як військовослужбовці спеціальних сил. Власний результат

Клінічна та експериментальна патологія. 2019. Т.18, №2 (68)

доводить доцільність використання смартфона з оцінкою ФПГ у дослідженні ВСР з представленим програмним забезпеченням (freeware) та розширює подальші можливості використання власної програми "Smart-ECG" з формуванням груп ризику в розподілі діагнозів для IХС і ГХ з їх ускладненнями та оцінки медикаментозної корекції.

Висновки

1. Варіабельність серцевого ритму, залежно від методу оцінки - при реєстрації варіабельності частоти пульсу (фотоплетизмографія смартфоном) і варіабельності серцевого ритму (електрокардіографія) не знайдено розбіжностей відповідно до показників SDNN і rMSSD.

2. Визначено зменшення показника SDNN внаслідок розвитку шлуночкової екстрасистолії, незважаючи на

лікування останньої.

3. Вагус-опосередковані зміни варіабельності серцевого ритму в короткостроковому періоді більш виражені для ішемічної хвороби серця і гіпертонічної хвороби (pNN50).

4. Доведено виснаження реактивності при наявності ішемічної хвороби серця і ішемічної хвороби серця з гіпертонічною хворобою проти приєднання її ускладнення - гострого порушення мозкового кровообігу відповідно до рівня зменшення амплітуди низькочастотних показників варіабельності серцевого ритму (LF).

5) Ефективність комбінації Кордарону і Тіворелю, відповідно до аналізу SDNN, переважала над ізольованим Кордароном за співвідношенням шансів.

Перспективи подальших досліджень

Таким чином, висновком представлено дослідження слід вважати, що, коли ми потребуємо метод швидкого аналізу біля ліжка хворого та інтерпретації отриманих результатів, використання з цією метою смартфона може бути ефективним, різноманітність програмного забезпечення є достатньою, а можливість самостійного використання пацієнтом є важливою. Використання програми власного аналізу "Smart-ECG" потребує подальших досліджень і впроваджень.

Список літератури

- 1.Ташчук ВК, Полянська ОС, Іванчук ПР, Амеліна ТМ, Ташчук МВ. Кардіопротекція у хворих зі стабільною стенокардією: аналіз цифрової обробки електрокардіограми. Український кардіологічний журнал. 2018;5:39-44. doi: <http://doi.org/10.31928/1608-635X-2018.5.3944>
- 2.Minassian A, Maihofer AX, Baker DG, Nievergelt CM, Geyer MA, Risbrough VB. Association of Predeployment Heart Rate Variability With Risk of Postdeployment Posttraumatic Stress Disorder in Active-Duty Marines. *JAMA Psychiatry*. 2015;72(10):979-86. doi: 10.1001/jamapsychiatry.2015.0922
- 3.Yang C, Dong Y, Chen Y, Tavassolian N. A Low-cost, Smartphone-only Pulse Transit Time Measurement System Using Cardio-mechanical Signals and Optical Sensors. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc [Internet]*. 2018[cited 2019 May 23];2018:1-4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8513270/metrics> doi: 10.1109/EMBC.2018.8513270
- 4.Lee ES, Lee JS, Joo MC, Kim JH, Noh SE. Accuracy of Heart Rate Measurement Using Smartphones During Treadmill Exercise in Male Patients With Ischemic Heart Disease. *Ann Rehabil Med*. 2017;41(1):129-37. doi: 10.5535/arm.2017.41.1.129
- 5.Bánhalmi A, Borbás J, Fidirich M, Bilicki V, Gingl Z, Rudas L. Analysis of a Pulse Rate Variability Measurement Using a Smartphone Camera. *J Healthc Eng [Internet]*. 2018[cited 2019 May 23];2018:4038034. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2018/4038034/> doi: 10.1155/2018/4038034
- 6.Castro-de la Torre TC, Amador-Licona N, Bernal-Ruiz E. Correlation of heart rate variability with SYNTAX II on chronic angina. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc [Internet]*. 2017[cited 2019 May 21];55(Suppl 1):S107-11. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2017/ims171p.pdf>
- 7.Plews DJ, Scott B, Altini M, Wood M, Kilding AE, Laursen PB. Comparison of Heart-Rate-Variability Recording With Smartphone Photoplethysmography. *Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. Int J Sports Physiol Perform*. 2017; 12(10):1324-8. doi: 10.1123/ijspp.2016-0668
- 8.Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT Jr, Moss AJ. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*. 1987;59(4):256-62. doi:[https://doi.org/10.1016/0002-9149\(87\)90795-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(87)90795-8)
- 9.Compostella L, Lakusic N, Compostella C, Truong LV, Ilceto S, Bellotto F. Does heart rate variability correlate with long-term prognosis in myocardial infarction patients treated by early ISSN 1727-4338 <https://www.bsmu.edu.ua>

revascularization? *World J. Cardiol [Internet]*. 2017[cited 2019 May 21];1(9):27-38. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5253192/pdf/WJC-9-27.pdf> doi: 10.4330/wjc.v9.i1.27

10.Liang Y, Chen Z, Ward R, Elgendi M. Hypertension Assessment Using Photoplethysmography: A Risk Stratification Approach. *J Clin Med [Internet]*. 2018[cited 2019 May 23];8(1):E12. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6352119/pdf/jcm-08-00012.pdf> doi: 10.3390/jcm8010012

11.Salmoirago-Blotcher E, Hovey KM, Andrews CA, Allison M, Brunner RL, Denburg NL, et al. Psychological traits, heart rate variability, and risk of coronary heart disease in healthy aging women - the Women's Health Initiative. *Psychosom Med*. 2019;81(3):256-64. doi: 10.1097/PSY.0000000000000672

12.Salahuddin L, Cho J, Jeong MG, Kim D. Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. In: 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society [Internet]; 2007 Aug 22-26; Lyon, France. Lyon; 2007[cited 2019 May 23], p. 4656-9. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4353378> doi: 10.1109/IEMBS.2007.4353378

13.Melo HM, Martins TC, Nascimento LM, Hoeller AA, Walz R, Takase E. Ultra-short heart rate variability recording reliability: The effect of controlled paced breathing. *Ann Noninvasive Electrocardiol [Internet]*. 2018[cited 2019 May 20];23(5):e12565. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anec.12565> doi: 10.1111/anec.12565

14.Wallace C. What's Your Heart-Rate Variability? It May Be Time to Find Out. *The Wall Street Journal [Internet]*. 2017[cited 2019 May 20]. Available from: <https://www.wsj.com/articles/whats-your-heart-rate-variability-it-may-be-time-to-find-out-1498442460>

References

- 1.Tashchuk VK, Polianska OS, Ivanchuk PR, Amelina TM, Tashchuk MV. Kardioprotektsiia u khvorykh zi stabil'noiu steno-kardieiu: analiz tsyfrovoi obrobky elektrokardiogramy [Cardioprotection in patients with ischemic heart disease evaluated by digital processing of electrocardiogram]. *Ukrainian Journal of Cardiology*. 2018;5:39-44. doi: <http://doi.org/10.31928/1608-635X-2018.5.3944> (in Ukrainian)
- 2.Minassian A, Maihofer AX, Baker DG, Nievergelt CM, Geyer MA, Risbrough VB. Association of Predeployment Heart Rate Variability With Risk of Postdeployment Posttraumatic Stress Disorder in Active-Duty Marines. *JAMA Psychiatry*. 2015;72(10):979-86. doi: 10.1001/jamapsychiatry.2015.0922
- 3.Yang C, Dong Y, Chen Y, Tavassolian N. A Low-cost, Smartphone-only Pulse Transit Time Measurement System Using Cardio-mechanical Signals and Optical Sensors. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc [Internet]*. 2018[cited 2019 May 23];2018:1-4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8513270/metrics> doi: 10.1109/EMBC.2018.8513270
- 4.Lee ES, Lee JS, Joo MC, Kim JH, Noh SE. Accuracy of Heart Rate Measurement Using Smartphones During Treadmill Exercise in Male Patients With Ischemic Heart Disease. *Ann Rehabil Med*. 2017;41(1):129-37. doi: 10.5535/arm.2017.41.1.129
- 5.Bánhalmi A, Borbás J, Fidirich M, Bilicki V, Gingl Z, Rudas L. Analysis of a Pulse Rate Variability Measurement Using a Smartphone Camera. *J Healthc Eng [Internet]*. 2018[cited 2019 May 23];2018:4038034. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2018/4038034/> doi: 10.1155/2018/4038034
- 6.Castro-de la Torre TC, Amador-Licona N, Bernal-Ruiz E. Correlation of heart rate variability with SYNTAX II on chronic angina. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc [Internet]*. 2017[cited 2019 May 21];55(Suppl 1):S107-11. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2017/ims171p.pdf>
- 7.Plews DJ, Scott B, Altini M, Wood M, Kilding AE, Laursen PB. Comparison of Heart-Rate-Variability Recording With Smartphone Photoplethysmography. *Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(10):1324-8. doi: 10.1123/ijspp.2016-0668
- 8.Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT Jr, Moss AJ. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*. 1987;59(4):256-62. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(87\)90795-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(87)90795-8)

Клінічна та експериментальна патологія. 2019. Т.18, №2 (68)

9. Compostella L, Lakusic N, Compostella C, Truong LV, Lliceto S, Bellotto F. Does heart rate variability correlate with long-term prognosis in myocardial infarction patients treated by early revascularization? *World J. Cardiol* [Internet]. 2017[cited 2019 May 21];1(9):27-38. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5253192/pdf/WJC-9-27.pdf> doi: 10.4330/wjc.v9.i1.27

10. Liang Y, Chen Z, Ward R, Elgendi M. Hypertension Assessment Using Photoplethysmography: A Risk Stratification Approach. *J Clin Med* [Internet]. 2018[cited 2019 May 23];8(1):E12. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6352119/pdf/jcm-08-00012.pdf> doi: 10.3390/jcm8010012

11. Salmoirago-Blotcher E, Hovey KM, Andrews CA, Allison M, Brunner RL, Denburg NL, et al. Psychological traits, heart rate variability, and risk of coronary heart disease in healthy aging women - the Women's Health Initiative. *Psychosom Med*. 2019; 81(3):256-64. doi: 10.1097/PSY.0000000000000672

12. Salahuddin L, Cho J, Jeong MG, Kim D. Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. In: 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society [Internet]; 2007 Aug 22-26; Lyon, France. Lyon; 2007[cited 2019 May 23], p. 4656-9. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4353378> doi: 10.1109/IEMBS.2007.4353378

13. Melo HM, Martins TC, Nascimento LM, Hoeller AA, Walz R, Takase E. Ultra-short heart rate variability recording reliability: The effect of controlled paced breathing. *Ann Noninvasive Electrocardiol* [Internet]. 2018 [cited 2019 May 20];23(5):e12565. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anec.12565> doi: 10.1111/anec.12565

14. Wallace C. What's Your Heart-Rate Variability? It May Be Time to Find Out. *The Wall Street Journal* [Internet]. 2017[cited 2019 May 20]. Available from: <https://www.wsj.com/articles/whats-your-heart-rate-variability-it-may-be-time-to-find-out-1498442460>

Інформація про авторів:

Ташук В.К. - д.мед.н., професор, завідувач кафедри внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини ВДНЗ України "Буковинський державний медичний університет", Чернівці

Іванчук П.Р. - к.мед.н., доцент, доцент кафедри внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини ВДНЗ України "Буковинський державний медичний університет",

Ташук М.В. - студент 4-го курсу медичного факультету №1 ВДНЗ України "Буковинський державний медичний університет", Чернівці

Сведения об авторах:

Ташук В.К. - д.м.н., профессор, заведующий кафедрой внутренней медицины, физической реабилитации и спортивной медицины ВГУЗ Украины "Буковинский государственный медицинский университет", Черновцы

Иванчук П.Р. - к.м.н., доцент, доцент кафедры внутренней медицины, физической реабилитации и спортивной медицины ВГУЗ Украины "Буковинский государственный медицинский университет", Черновцы

Ташук М.В. - студент 4-го курса медицинского факультета №1 ВГУЗ Украины "Буковинский государственный медицинский университет", Черновцы

Information about authors:

Tashchuk V.K. - Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sports Medicine Higher State Educational Establishment of Ukraine "Bukovinian State Medical University", Chernivtsi

Ivanchuk P.R. - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sports Medicine Higher State Educational Establishment of Ukraine "Bukovinian State Medical University", Chernivtsi

Tashchuk MV - student of the 4th year of the medical faculty № 1 of the Higher State Educational Establishment of Ukraine "Bukovinian State Medical University", Chernivtsi

Стаття надійшла до редакції 20.04.2019

Рецензент – проф. О.І. Федів

© В.К. Ташук, М.В. Ташук, П.Р. Іванчук, 2019