

ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ: КЛІНІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ТА КОНТРОЛЬ

В. К. Ташчук, І. Т. Руснак, Т. М. Амеліна, О. М. Гінгуляк, Б. А. Корбут

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Мета роботи – дослідити можливість аналізу ультракороткої варіабельності серцевого ритму (BCP) з використанням фотоплетизмографії (ФПГ) та оцінкою варіабельності частоти пульсу (ВЧП) за допомогою смартфона в умовах стрес-тестів і оцінки шкали депресії Бека.

Матеріал та методи. Обстежено 30 здорових добровольців (студентів-медиків) із розподілом на 2 групи та аналізом вихідної BCP і після фізичного навантаження ($n=15$) і вихідної BCP та після психоемоційного навантаження з використанням програми «ECG For Everybody» з 2-хвилинною реєстрацією ВЧП за допомогою смартфона з оцінкою 17 показників BCP та з аналізом 6 основних показників (SDNN, RMSSD, pNN50, LF, HF, LF/HF та додатково – TINN).

Результати. За результатами аналізу змін BCP при використанні ФПГ за допомогою смартфона в умовах стрес-тестів з оцінкою приросту змін від вихідних значень ($\Delta\%$) визначені розбіжності спрямування показників RMSSD (різниця становила $\Delta\%1-2 = -13,77\%$ ($p>0,2$) для фізичного навантаження і $\Delta\%1-2 = -2,25\%$ ($p>0,5$) для психоемоційного навантаження), SDNN ($\Delta\%1-2 = -23,35\%$ ($p>0,5$) і $\Delta\%1-2 = -0,21\%$ ($p>0,5$) відповідно), pNN50 ($\Delta\%1-2 = -27,76\%$ ($p>0,2$) і $\Delta\%1-2 = +14,72\%$ ($p>0,2$) відповідно), LF ($\Delta\%1-2 = +8,55\%$ ($p>0,5$) і $\Delta\%1-2 = +141,40\%$ ($p<0,05$) відповідно), HF ($\Delta\%1-2 = -40,99\%$ ($p>0,2$) і $\Delta\%1-2 = +98,65\%$ ($p<0,005$) відповідно), LF/HF ($\Delta\%1-2 = +113,79\%$ ($p<0,05$) і $\Delta\%1-2 = +66,08\%$ ($p<0,02$) відповідно), TINN ($\Delta\%1-2 = -34,50\%$ ($p<0,05$) і $\Delta\%1-2 = -16,81\%$ ($p>0,2$) відповідно), визначений зв'язок відношення шансів залежності зменшення показника SDNN і наявності депресії за шкалою Бека, що дорівнює 4,0 (однак при $p>0,1$). Використання двохвилинної реєстрації BCP у власному дослідженні визначило найбільш ефективними показниками для фізичного навантаження LF/HF і TINN, що засвідчує про переважання симпатичної активації. За умов психоемоційного навантаження спостерігаються достовірні зміни LF і LF/HF у напрямку активації симпатичного контура. Важливо відзначити, що у студентів-медиків активація симпатичного контура спостерігається за всіма вивченими показниками RMSSD, SDNN, pNN50, LF і HF із достовірною різницею для LF/HF і TINN за умов фізичного навантаження. Психоемоційне навантаження пов'язується зі строкатістю спрямування показників, що вивчалися, але також вказує на активацію симпатичного контура.

Висновок. Використання ФПГ зі смартфоном для аналізу BCP є ефективним. Встановлено нестабільність балансу BCP серед студентів-медиків при фізичному навантаженні, що сприяє активації симпатичного відділу нервової системи. У невеликій кількості спостережень підтверджено тенденцію активації симпатичного відділу під навантаженням для таких показників BCP: RMSSD, SDNN, pNN50, LF і HF із достовірним розподілом для LF/HF і TINN. Оцінка психічного благополуччя за шкалою депресії Бека вказує на тенденцію до зменшення показника SDNN у разі наявності депресії за цією шкалою з відношенням шансів 4,0.

Ключові слова:

варіабельність серцевого ритму, фотоплетизмографія, смартфон, шкала депресії Бека.

Клінічна та експериментальна патологія 2025. Т.24, №1 (91). С. 93-98.

DOI 10.24061/1727-4338.XXIV.1.91.2025.14

E-mail: vtashchuk@ukr.net

HEART RATE VARIABILITY: CLINICAL OPPORTUNITIES AND CONTROL

V. K. Tashchuk, I. T. Rusnak, T. M. Amelina, O. M. Hinhuliak, B. A. Korbut

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

The aim – to estimate the possibility of ultrashort heart rate variability (HRV) analysis using photoplethysmography (PPG) with assessment of pulse rate variability (PRV) by means of a smartphone under stress tests and assessment of the Beck Depression Inventory.

Material and methods. Thirty healthy medical student volunteers were divided into two groups one group underwent HRV analysis at baseline and after physical exertion ($n=15$), while the other was assessed at baseline and after psycho-emotional stress using the «ECG For Everybody» program with 2-minute registration of HRV using a smartphone with assessment of 17 HRV parameters and analysis of 6 main parameters (SDNN, RMSSD, PNN50, LF, HF, LF/HF and additionally TINN).

Key words:

heart rate variability, photoplethysmography, smartphone, Beck Depression Scale.

Clinical and experimental pathology 2025. Vol.24, № 1 (91). P. 93-98.

Results. According to the results of the analysis of HRV changes during the use of PPG by means of a smartphone under stress-tests with an assessment of the increase in changes from the initial values ($D\%$), differences in the direction of the RMSSD indicators were determined (the difference was $\Delta\%1-2 = -13.77\%$ ($p > 0.2$) for physical activity and $\Delta\%1-2 = -2.25\%$ ($p > 0.5$) for psycho-emotional activity), SDNN ($\Delta\%1-2 = -23.35\%$ ($p > 0.5$) and $\Delta\%1-2 = -0.21\%$ ($p > 0.5$), respectively), PNN50 ($\Delta\%1-2 = -27.76\%$ ($p > 0.2$) and $\Delta\%1-2 = +14.72\%$ ($p > 0.2$), respectively), LF ($\Delta\%1-2 = +8.55\%$ ($p > 0.5$) and $\Delta\%1-2 = +141.40\%$ ($p < 0.05$), respectively), HF ($\Delta\%1-2 = -40.99\%$ ($p > 0.2$) and $\Delta\%1-2 = +98.65\%$ ($p < 0.005$), respectively), LF/HF ($\Delta\%1-2 = +113.79\%$ ($p < 0.05$) and $\Delta\%1-2 = +66.08\%$ ($p < 0.02$), respectively), TINN ($\Delta\%1-2 = -34.50\%$ ($p < 0.05$) and $\Delta\%1-2 = -16.81\%$ ($p > 0.2$), respectively), the relationship of the odds ratio for the association between SDNN reduction and the presence of depression on the Beck scale, which is equal to 4.0 (however, at $p > 0.1$). The use of two-minute HRV registration in our own study has determined that the most effective indicators for physical activity are LF/HF and TINN, which indicates the predominance of sympathetic activation. During psycho-emotional stress, significant changes in LF and LF/HF indicate sympathetic circuit activation. It is important to note that in medical students, activation of the sympathetic circuit is observed for all studied indicators RMSSD, SDNN, pNN50, LF and HF with a significant difference for LF/HF and TINN during physical activity. Psycho-emotional stress is associated with the variability in indicator direction of the studied indicators, but also indicates the activation of the sympathetic circuit.

Conclusions. The use of a smartphone-based photoplethysmography for HRV analysis is effective. Instability of HRV balance during physical activity in medical students has been observed, which contributes to sympathetic nervous system activation. In a small number of observations, the tendency of activation of the sympathetic division under stress for HRV indicators such as RMSSD, SDNN, PNN50, LF and HF has been confirmed, with a reliable distribution for LF/HF and TINN. Assessment of mental well-being according to the Beck Depression Scale indicates a tendency to reduce the SDNN indicator in the presence of depression according to this scale with an odds ratio of 4.0.

Вступ

Варіабельність серцевого ритму (BCP) є важливим інструментом для оцінки стану вегетативної нервової системи, що базується на статистичних і спектральних показниках, рекомендованих міжнародними стандартами з 1996 р. [1]. Можливості методу тривало пов'язували з пристроями на основі електрокардіографії (ЕКГ), що еволюціонувала від стаціонарних систем до портативних пристроїв, і досі є доступним неінвазивним інструментом попереднього скринінгу, а завдяки діджиталізації ЕКГ та впровадженню власної програми «Смарт-ЕКГ» реалізовані нові можливості для оцінки BCP в діагностиці і оцінці лікування кардіологічних захворювань [2, 3]. Вивчення BCP надає важливу інформацію про психічне здоров'я для клінічної діагностики, телемедицини, профілактичної медицини та охорони здоров'я, однак відсутність зручного методу виявлення обмежує його потенціал. Сучасним вирішенням питання дослідження BCP є застосування переносної електроніки, що дає змогу безперервно відстежувати серцеві сигнали та оцінювати BCP, забезпечує бажаний і багатообіцяючий підхід для допомоги суб'єктам у визначенні проблем зі сном, серцево-судинними захворюваннями або іншими загрозами для фізичного та психічного благополуччя [4]. Одним із таких підходів є фотоплетизмографія (ФПГ), у тому числі – за допомогою смартфона з визначенням варіабельності частоти пульсу (ВЧП) під час дослідження показників BCP порівняно з пристроями ЕКГ і моніторами серцевого ритму – відмінності при цих двох підходах інтерпретовані, ISSN 1727-4338 <https://www.bsmu.edu.ua>

як «тривіальні до малих» [3, 5]. Одним із важливих питань при використанні таких підходів є скорочений інтервал реєстрації (довгостроковий, LT, >10 хв до 24 год), короткостроковий (ST, від 1-2 до 5 хв) і ультракороткий (UST, 10-30 с), а отже, останніми роками проводилися дослідження зіставлення ультракороткострокових (30 с) та короткострокових (5 хв) вимірювань BCP з надійністю в доменах VLF, HF, SD1 і SD2 показників BCP, а отже, хоч 5-хвилинні ЕКГ все ще можуть бути кращими, 30-секундний показник може бути прийнятним для оцінки BCP [6], оскільки на думку дослідників причиною повільного впровадження вимірювання BCP є непомірно висока вартість часу (~5 хв) [7], а отже, запропонований підхід дослідження за 2 хвилини реєстрації ВЧП з використання смартфона є актуальним.

Мета дослідження

Дослідити можливість аналізу ультракороткої варіабельності серцевого ритму (BCP) з використанням фотоплетизмографії (ФПГ) та оцінкою варіабельності частоти пульсу (ВЧП) за допомогою смартфона в умовах стрес-тестів і оцінки шкали депресії Бека.

Матеріали та методи дослідження

У дослідженні взяли участь 30 здорових добровольців (студенти-медики, середній вік 21,7 р) у складі двох груп оцінки BCP: перша група ($n=15$) – з аналізом вихідної BCP та після фізичного навантаження (ходьба, 5 хв зі швидкістю 5 км/год), друга група ($n=15$) – з аналізом вихідної BCP та після психоемоційного навантаження (обрахункові операції). Кожен учасник дослідження надав

Клінічна та експериментальна патологія. 2025. Т.24, № 1 (91)

письмову інформовану згоду. Дослідження здійснили відповідно до основних положень Good Clinical Practice (GCP) та Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участі людини.

Дослідження показників ВСР за допомогою ФПГ зі смартфона виконували з використанням програми «ECG For Everybody» (Device-Software Heart Health Care Platform, https://ecg4everybody.com/index.php#home_page).

Реєстрація ВСР тривала 2 хв з оцінкою 17 показників ВСР та аналізом 6 основних показників і одного додаткового:

1. SDNN – стандартне відхилення інтервалів N-N, сумарний показник варіабельності величин інтервалів RR за весь час спостереження.

2. RMSSD – корінь квадратний із суми квадратів різниць величин послідовних пар інтервалів R-R.

3. pNN50 – відсоток послідовних пар інтервалів R-R, що різняться ≥ 50 мс, отримані за весь час реєстрації.

4. LF – низькочастотний компонент спектра.

5. HF – високочастотна складова спектра.

6. LF/HF – співвідношення спектру низькочастотної компоненти до спектру високочастотної компоненти.

7. Додатковий – TINN – триангулярний індекс.

Для оцінки зв'язків впливу на ВСР фізичного та психоемоційного навантаження та залежно від психічного благополуччя аналіз проводили відповідно до шкали депресії А. Бека.

Статистична обробка даних виконана з використанням електронних таблиць Microsoft Office Excel. Використовували параметричні та непараметричні методи порівняння, при нормальному розподілі застосовували метод Ст'юдента (дані представлені як середнє значення (M) та похибка середнього значення (m)), при ненормальному розподілі – критерій Манна-Уїтні. Відмінності вважали достовірними при рівні значущості $p < 0,05$, тенденцію визначали при рівні p менше 0,1.

Результати та їх обговорення

Дослідженню піддано 17 показників ВСР з аналізом 6 основних показників і одного додаткового.

Динаміка показника RMSSD, кореня квадратного із суми квадратів різниць величин послідовних пар інтервалів R-R (при референтному значенні $\text{RMSSD} = 27 \pm 12$ мс), з вихідним рівнем до навантаження $38,73 \pm 3,66$ мс і після фізичного навантаження $33,40 \pm 4,43$ мс ($p > 0,2$), $\Delta\% 1-2 = -13,77\%$ якщо вихідне значення RMSSD прийняти за 100%, його зменшення засвідчить про тенденцію до зниження активності механізмів саморегуляції і тенденцію до зниження парасимпатичної активності після фізичного навантаження. До/після психоемоційного навантаження (обрахункових операцій) динаміки RMSSD не зареєстровано ($65,27 \pm 5,89$ мс проти $63,80 \pm 5,08$ мс, $p > 0,5$, $\Delta\% 1-2 = -2,25\%$), як наведено на рис. 1.

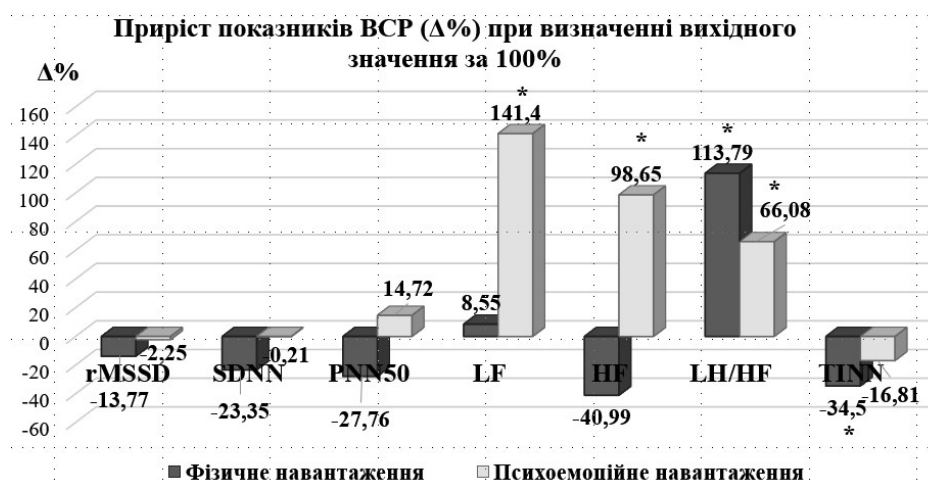


Рис. 1. Аналіз змін варіабельності серцевого ритму з використанням фотоплетизмографії за допомогою смартфона в умовах стрес-тестів з оцінкою приросту змін від вихідних значень ($\Delta\%$) показників RMSSD, SDNN, pNN50, LF, HF, LF/HF, TINN

Зміни показника SDNN, стандартного відхилення N-N-інтервалів, сумарний показник варіабельності величин інтервалів RR за весь час спостереження (при референтному значенні $\text{SDNN} = 144 \pm 39$ мс), з вихідним рівнем до навантаження $44,53 \pm 6,17$ мс і після фізичного навантаження $34,13 \pm 3,84$ мс ($p > 0,1$), різниця становила $\Delta\% 1-2 = -23,35\%$ при визначенні вихідного значення SDNN за 100% (рис. 2), зменшення SDNN засвідчує про тенденцію до посилення симпатичної регуляції, що демонструє тенденцію до пригнічення активності автономного контура. Відношення шансів залежності зменшення показника SDNN і наявності депресії за шкалою Клінічна та експериментальна патологія. 2025. Т.24, № 1 (91)

Бека дорівнює 4,0 (однак при $p > 0,1$). До/після психоемоційного навантаження змін SDNN не визначено ($64,60 \pm 7,14$ мс проти $64,73 \pm 4,58$ мс, $p > 0,5$, $\Delta\% 1-2 = -0,21\%$).

Оцінка показника pNN50, відсотка послідовних пар інтервалів R-R, які розрізняються більше, ніж на 50 мс, отримані за весь час реєстрації (при референтному значенні $\text{pNN50} = 7 \pm 2\%$), з вихідним рівнем до навантаження $22,33 \pm 5,16\%$ і після фізичного навантаження $16,13 \pm 4,33\%$ ($p > 0,2$), різниця дорівнює $\Delta\% 1-2 = -27,76\%$ при визначенні вихідного значення pNN50 за 100% (рис. 2), зменшення pNN50 засвідчує про тенденцію до порушення

регуляції серцевого ритму, тенденцію до зниження парасимпатичної активності або тенденцію до переважання симпатичної нервової системи. До/після психоемоційного навантаження відзначена тенденція до приросту $pNN50$ ($38,93 \pm 4,42\%$ проти $44,67 \pm 4,18\%$, $p > 0,2$, $\Delta\%1-2 = +14,72\%$), а отже, збільшення $pNN50$ у цій ситуації, на відміну від фізичного навантаження, засвідчує про недостовірне переважання парасимпатичної ланки над симпатичною.

Дослідження показника LF, низькочастотного компоненту спектра, що характеризує симпатичну активність і рівень мобілізуючого потенціалу (при референтному значенні $LF = 417,3 \pm 807,6$ ms^2), з вихідним рівнем до навантаження $412,27 \pm 126,42$ ms^2 , а після фізичного навантаження – $447,53 \pm 110,83$ ms^2 ($p > 0,5$), різниця дорівнює $\Delta\%1-2 = +8,55\%$, якщо вихідне значення LF вважати за 100% (рис. 2), збільшення LF засвідчує про тенденцію до симпатичного переважання. До/після психоемоційного навантаження зареєстроване достовірне і суттєве збільшення LF ($370,87 \pm 65,31$ ms^2 проти $895,27 \pm 199,15$ ms^2 , $p < 0,05$, $\Delta\%1-2 = +141,40\%$), що, як і за фізичного навантаження, засвідчує про розвиток симпатичного переважання.

Визначення показника HF, високочастотного компоненту спектра, що характеризує рівень активності парасимпатичної ланки регуляції (при референтному значенні $HF = 254,1 \pm 414,1$ ms^2), з вихідним рівнем до навантаження $373,07 \pm 117,38$ ms^2 , а після фізичного навантаження $220,13 \pm 44,04$ ms^2 ($p > 0,2$), $\Delta\%1-2 = -40,99\%$ при визнанні вихідного значення HF за 100% (рис. 1), зменшення HF засвідчує про тенденцію до зниження парасимпатичної активності. До/після психоемоційного навантаження зареєстроване достовірне і суттєве збільшення HF ($315,20 \pm 63,73$ ms^2 проти $626,07 \pm 57,52$ ms^2 , $p < 0,005$, $\Delta\%1-2 = +98,65\%$), що, на відміну від фізичного навантаження, засвідчує про розвиток парасимпатичного переважання.

Розрахунок показника LF/HF, співвідношення спектра низькочастотної компоненти до спектра високочастотної компоненти (при референтному значенні $LF/HF = 1,5-2,0$ у.о.), з вихідним рівнем до навантаження $1,23 \pm 0,17$ у.о. і після фізичного навантаження $2,62 \pm 0,54$ у.о. ($p < 0,05$), $\Delta\%1-2 = +113,79\%$ при визнанні вихідного значення LF/HF за 100% (рис. 2), є ознакою активації симпатичної нервової системи і високого ризику раптової смерті за умови симпатичного домінування. Враховуючи розходження спрямування показників LF і HF при фізичному проти психоемоційного навантаження, привернув увагу підсумовуючий вектор їх співвідношення – LF/HF – було зареєстровано достовірне і суттєве збільшення LF/HF ($1,13 \pm 0,16$ у.о. проти $1,88 \pm 0,20$ у.о., $p < 0,02$, $\Delta\%1-2 = +66,08\%$), що, як і за умов фізичного навантаження, засвідчує про розвиток активації симпатичної нервової системи.

Додатковому аналізу, крім попередніх шести, піддано ще показник TINN (триангулярний індекс – низькочастотний компонент спектра, загальна оцінка варіабельності, інтеграл щільності розподілу загальної кількості інтервалів NN до максимуму), що показує

загальну BCP і прямо пропорційний парасимпатичній активності (при референтному значенні $TINN = 5,69 \pm 0,39$ у.о.), з вихідним рівнем до навантаження $189,33 \pm 23,00$ у.о., а після фізичного навантаження – $124,00 \pm 15,14$ у.о. ($p < 0,05$), $\Delta\%1-2 = -34,50\%$. Якщо вихідне значення TINN вважати за 100% (рис. 1), його зменшення відображає втрату парасимпатичної активності ($p < 0,05$). Відомо, що при $TINN \leq 20,42$ і $RMSSD \leq 0,068$ серцевий ритм нормальний, тоді як при $TINN > 20,42$ – аритмічний. Аналіз TINN до/після психоемоційного навантаження засвідчує на користь тенденції до його зменшення ($150,67 \pm 24,61$ у.о. проти $125,33 \pm 17,40$ у.о., $\Delta\%1-2 = -16,81\%$), а отже, реєструється тенденція до парасимпатичної активності.

Вибраний напрям є актуальним, оскільки в базі даних PubMed на 2025 рік із тегом «варіабельність серцевого ритму» значиться 62905 публікацій, у тому числі 10828 – щодо BCP за навантажень і 931 – «фотоплетизмографія», серед них 19 – за допомогою смартфона («heart rate photoplethysmogram smartphone»). Одне з нещодавніх досліджень [6] пропонує використання ультракоротких ланцюжків аналізу BCP у спеціалізованих підрозділах поліції (SWAT, Serving on Special Weapons and Tactics) з огляду на їх значні навантаження, що потребують швидкого контролю в умовах високих рівнів фізичного, психічного та емоційного стресу, а отже, алостатичного навантаження, що актуалізує контроль BCP з метою визначення дезадаптивних реакцій на стрес у різноманітних умовах. Постає питання, чи достатньо 2-хвилинної реєстрації BCP смартфоном? Свого часу в рандомізованому контрольованому дослідженні MESA (The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) запропоновано використовувати короткі ділянки ЕКГ для аналізу BCP: три стандартні 10-секундні ЕКГ у 12 відведеннях використовували для вимірювання RHR (resting heart rate), стандартного відхилення інтервалів від норми до норми (SDNN) і середньоквадратичного кореня послідовних різниць інтервалів RR (RMSSD) граничні аномальні та аномальні SDNN і rMSSD були пов'язані з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань і смертності від усіх причин [8]. Відповідно до сучасних підходів [6], розглядається зіставлення довгострокових (LT, >10 хв до 24 год), короткострокових (ST, 1-2 хв до 5 хв) і ультракоротких термінів реєстрації ЕКГ для аналізу BCP (UST, 10-30 с) і визнається можлива ефективність і хороший внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції ($ICC > 0,8$), а отже, надійності показників BCP VLF, HF, SD1 і SD2 для короткої реєстрації. У власному дослідженні продемонстровані можливості використання ФПГ на смартфоні з короткою реєстрацією BCP (2 хв) та виявлена активація симпатичного контура у студентів-медиків за аналізами показників RMSSD, SDNN, $pNN50$, LF і HF при достовірній розбіжності для LF/HF і TINN; за психоемоційного навантаження не визначено змін показників SDNN при деякому зростанні $pNN50$ і отже, можливої активації парасимпатичної ланки, що зникає в умовах достовірного збільшення LF (розвиток симпатичного переважання), однак при достовірному зростанні HF (парасимпатичне переважання) – сумарний аналіз співвідношення LF/HF з його достовірним збільшенням демонструє активацію симпатичного контура, тоді як тенденція

до збільшення TINN до/після психоемоційного навантаження продемонструвала спрямування до підвищення парасимпатичної активності. Отже, фізичне навантаження демонструє активацію симпатичного контура, натомість психоемоційне навантаження – різноспрямованість коливань показників, що вивчалися. У літературі існують думки про інформативність визначення ультракороткої ВСР для RMSSD (15 с та 6 хв) [9], однак при надультракороткій реєстрації ВСР за фізичного навантаження інформативність критерію RMSSD зменшилася [10]. В умовах психоемоційного навантаження зазначають, що у мобільних додатках для аналізу ВСР можна використовувати короткострокове вимірювання ЕКГ при високій ефективності з дослідженням частоти серцевих скорочень та інтервалів RR протягом 10 с, RMSSD і PNN50 – впродовж 30 с, HF – в межах 40 с, LF/HF, нормалізованої LF і нормалізованої HF – у терміні 50 с [11]. Отже, використання у власному дослідженні 2-хвилинної реєстрації ВСР визначило найефективнішими показниками для фізичного навантаження LF/HF і TINN із переважанням симпатичної активації, тоді як за психоемоційного навантаження реєструються достовірні зміни LF і LF/HF в напрямку активації симпатичного контуру. Слід зазначити активацію симпатичного контуру у студентів-медиків за аналізом усіх досліджених показників (RMSSD, SDNN, pNN50, LF і HF) при достовірній розбіжності для LF/HF і TINN при фізичному навантаженні, натомість психоемоційне навантаження пов'язувалося зі строкатістю спрямування показників, що вивчали.

Висновки

1. Використання фотоплетизмографії зі смартфоном для аналізу варіабельності серцевого ритму є ефективним.
2. У середовищі студентів-медиків існує нестабільність балансу варіабельності серцевого ритму при фізичному навантаженні з тенденцією до активації симпатичного відділу нервової системи за показниками RMSSD, SDNN, pNN50, LF і HF та достовірним розподілом для LF/HF і TINN; при психоемоційному навантаженні визначена строкатість показників ВСР.

Перспективи подальших досліджень

Доцільність використання смартфона в дослідженні ВСР, зв'язок між психічним здоров'ям і ВСР дають широкі можливості для подальшого вивчення та досліджень зручних та доступних методів об'єктивізації станів людини.

Список літератури

1. 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. Heart rate variability. *Circulation*. 1996;93(5):1043-65.
2. ТашукВК, ПолянськаОС, ІванчукПР, ТашукІА, Аль-СаламаМВ, ТашукМВ. Побудова програмного забезпечення для вивчення варіабельності серцевого ритму, дисперсії інтервалу QT. Клінічна та експериментальна патологія. 2015;14(1):160-4.
3. ТашукВК, ТашукМВ, ІванчукПР. Дигіталізація електрокардіографії і фотоплетизмографії: клінічне впровадження кількісного аналізу серцевого ритму. Клінічна та експериментальна патологія. 2019;18(2):80-5. doi: 10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.14
4. Клінічна та експериментальна патологія. 2025. Т.24, № 1 (91)
5. Yin F, Chen J, Xue H, Kang K, Lu C, Chen X, et al. Integration of wearable electronics and heart rate variability for human physical and mental well-being assessment. *J. Semicond* [Internet]. 2025[cited 2025 Mar 05];46:011603. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4926/24080026> doi: 10.1088/1674-4926/24080026
6. Rogers DW, Himariotis AT, Sherriff TJ, Proulx QJ, Duong MT, Noel SE, et al. Test-Retest Reliability and Concurrent Validity of Photoplethysmography Finger Sensor to Collect Measures of Heart Rate Variability. *Sports (Basel)* [Internet]. 2025[cited 2025 Mar 10];13(2):29. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11861371/pdf/sports-13-00029.pdf> doi: 10.3390/sports13020029
7. Tomes CD, Canetti EFD, Schram B, Orr R. Ultra-short-term versus short-term measures of heart rate variability in specialist police units: A pilot reliability study. *Physiol Rep* [Internet]. 2025[cited 2025 Mar 10];13(2): e70182. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11738644/pdf/PHY2-13-e70182.pdf> doi: 10.14814/phy2.70182
8. Shaffer F, Meehan ZM, Zerr CL. A Critical Review of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Norms Research. *Front Neurosci* [Internet]. 2020[cited 2025 Mar 05];14:594880. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7710683/pdf/fnins-14-594880.pdf> doi: 10.3389/fnins.2020.594880
9. O'Neal WT, Chen LY, Nazarian S, Soliman EZ. Reference ranges for short-term heart rate variability measures in individuals free of cardiovascular disease: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *J Electrocardiol*. 2016;49(5):686-90. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2016.06.008
10. Orini M, van Duijvenboden S, Young WJ, Ramirez J, Jones AR, Hughes AD, et al. Long-term association of ultra-short heart rate variability with cardiovascular events. *Sci Rep* [Internet]. 2023[cited 2025 Mar 05];13(1):18966. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10624663/pdf/41598_2023_Article_45988.pdf doi: 10.1038/s41598-023-45988-2
11. Esco MR, Flatt AA. Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *J Sports Sci Med*. 2014;13(3):535-41.
12. Salahuddin L, Cho J, Jeong MG, Kim D. Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2007;2007:4656-9. doi: 10.1109/iembs.2007.4353378

References

1. 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. Heart rate variability. *Circulation*. 1996;93(5):1043-65.
2. Tashchuk VK, Polianska OS, Ivanchuk PR, Tashchuk IA, Al-Salama MV, Tashchuk MV. Pobudova programnoho zabezpechennia dlia vyvchennia variabel'nosti sertsevoho rytmu, dyspersii intervalu QT [Building software for study heart rate variability, QT dispersion]. *Clinical and experimental pathology*. 2015;14(1):160-4. (in Ukrainian)
3. Tashchuk VK, Tashchuk MV, Ivanchuk PR. Dyhitalizatsiia elektrokardiografii i fotopletyzmografii: klinichne vprovadzhennia kil'kisnoho analizu sertsevoho rytmu [Digitalization of electrocardiography and photoplethysmography: clinical implementation of a quantity analysis of the heart rhythm]. *Clinical and experimental pathology*. 2019;18(2):80-5. doi: 10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.14 (in Ukrainian)
4. Yin F, Chen J, Xue H, Kang K, Lu C, Chen X, et al. Integration of wearable electronics and heart rate variability for human physical and mental well-being assessment. *J. Semicond* [Internet]. 2025[cited 2025 Mar 05];46:011603. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4926/24080026> doi: 10.1088/1674-4926/24080026
5. Rogers DW, Himariotis AT, Sherriff TJ, Proulx QJ, Duong MT, Noel SE, et al. Test-Retest Reliability and Concurrent Validity of Photoplethysmography Finger Sensor to Collect Measures of Heart

- Rate Variability. Sports (Basel) [Internet]. 2025[cited 2025 Mar 10];13(2):29. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11861371/pdf/sports-13-00029.pdf> doi: 10.3390/sports13020029
6. Tomes CD, Canetti EFD, Schram B, Orr R. Ultra-short-term versus short-term measures of heart rate variability in specialist police units: A pilot reliability study. *Physiol Rep* [Internet]. 2025[cited 2025 Mar 10];13(2): e70182. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11738644/pdf/PHY2-13-e70182.pdf> doi: 10.14814/phys2.70182
 7. Shaffer F, Meehan ZM, Zerr CL. A Critical Review of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Norms Research. *Front Neurosci* [Internet]. 2020[cited 2025 Mar 05];14:594880. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7710683/pdf/fnins-14-594880.pdf> doi: 10.3389/fnins.2020.594880
 8. O'Neal WT, Chen LY, Nazarian S, Soliman EZ. Reference ranges for short-term heart rate variability measures in individuals free of cardiovascular disease: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *J Electrocardiol*. 2016;49(5):686-90. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2016.06.008
 9. Orini M, van Duijvenboden S, Young WJ, Ramirez J, Jones AR, Hughes AD, et al. Long-term association of ultra-short heart rate variability with cardiovascular events. *Sci Rep* [Internet]. 2023[cited 2025 Mar 05];13(1):18966. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10624663/pdf/41598_2023_Article_45988.pdf doi: 10.1038/s41598-023-45988-2
 10. Esco MR, Flatt AA. Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *J Sports Sci Med*. 2014;13(3):535-41.
 11. Salahuddin L, Cho J, Jeong MG, Kim D. Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2007;2007:4656-9. doi: 10.1109/iembs.2007.4353378

Відомості про авторів:

Ташук В. К. – д.мед.н., проф., зав. каф. внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

E-mail: vtashchuk@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7988-5256>

Руснак І. Т. – к.мед.н., доцент кафедри внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

E-mail: ilonarusnakdr@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3011-2348>

Амеліна Т. М. – к.мед.н., доцент кафедри внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

E-mail: amelinatania@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-914X>

Гінгуляк О. М. – к.мед.н., доцент кафедри внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

E-mail: hinbar1986@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2638-0139>

Корбут Б. А. – студент Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

E-mail: korbutbo2002@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9867-9858>

Information about the authors:

Tashchuk V. K. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: vtashchuk@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7988-5256>

Rusnak I. T. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: ilonarusnakdr@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3011-2348>

Amelina T. M. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: amelinatania@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-914X>

Hinhuliak O. M. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: hinbar1986@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2638-0139>

Korbut B. A. – student of Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: korbutbo2002@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9867-9858>

Стаття надійшла до редакції 04.02.2025

© В. К. Ташук, І. Т. Руснак, Т. М. Амеліна, О. М. Гінгуляк, Б. А. Корбут

