

Петрик Ксенія Юрївна,

*асистент кафедри фізіології та патофізіології медичного факультету № 2,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
kseniya.petryk@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-5696-5499>
м. Ужгород, Україна*

Лешко Мирослав Михайлович,

*аспірант кафедри фізіології та патофізіології
медичного факультету № 2,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
myroslav.leshko@uzhnu.edu.ua
м. Ужгород, Україна*

Паламарчук Ольга Сергіївна,

*доктор філософії, доцент,
доцент кафедри фізіології та патофізіології медичного факультету № 2,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
olga.palamarchuk@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9742-1906>
м. Ужгород, Україна*

Фекета Тамара Юрївна,

*ортопед-травматолог,
Закарпатський обласний дитячий санаторій «Малютко»,
tamara.feketa@uzhnu.edu.ua
м. Ужгород, Україна*

Математичне моделювання залежності між параметрами ВСР та показниками компонентного складу тіла у дітей молодшого шкільного віку

На сьогодні параметри варіабельності серцевого ритму (ВСР) вважаються доступним та високоінформативним маркером функціонального стану автономної нервової системи (АНС). Найбільш інформативні показники ВСР ми використали для вивчення взаємозв'язку між параметрами функціонального стану АНС та показниками компонентного складу тіла у дітей молодшого шкільного віку. Компонентний склад тіла визначали біоімпедансним методом за допомогою аналізатора складу тіла "TANITA-BC-601" (Японія). До дослідження було залучено 222 дітей віком від 10 до 11 років, з яких 128 – дівчат та 94 хлопчики, які навчалися в початкових класах середніх шкіл м. Ужгорода. Найвищі і високо вірогідні коефіцієнти кореляції були знайдені між показниками компонентного складу тіла та показниками загальної потужності автономної регуляції SDNN та активності парасимпатичної ланки RMSSD і рNN50. Зокрема, коефіцієнт кореляції між БМ та SDNN дорівнював 0,88 ($p < 0,001$), між РВЖ та SDNN був рівний – 0,88 ($p < 0,001$), між РВЖ та RMSSD – складав – 0,91 ($p < 0,001$), між РВЖ та рNN50 – складав – 0,85 ($p < 0,001$). Відносно низькою, але статистично вірогідною, була кореляція між показниками компонентного складу тіла та відсотковим вкладом хвиль різного частотного діапазону серцевого ритму у загальну ВСР. Кореляційний та однофакторний регресійний аналіз дозволили підтвердити та кількісно характеризувати зв'язок між показниками компонентного складу тіла та низкою показників функціонального стану АНС, зокрема з SDNN, мс та TP, мс², показниками активності парасимпатичної АНС (RMSSD, мс, рNN50, %) та деякими спектральними параметрами серцевого ритму. Отримані рівняння регресії дають змогу передбачити напрям та можливий діапазон змін відповідного показника АНС при зміні параметрів компонентного складу тіла і можуть бути використані при плануванні лікувальних та реабілітаційних заходів у дітей з надмірною масою тіла.

Ключові слова: автономна нервова система, функціональний стан, серцевий ритм, автономні дисфункції, автономна регуляція.

Petrik Ksenija Yuriivna, Assistant of the Department of Physiology and Pathophysiology, Faculty of Medicine No. 2, SU "Uzhhorod National University", kseniya.petryk@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5696-5499>, Uzhhorod, Ukraine

Leshko Myroslav Mykhailovych, PhD student of the Department of Physiology and Pathophysiology, Faculty of Medicine No. 2, SU "Uzhhorod National University", myroslav.leshko@uzhnu.edu.ua, Uzhhorod, Ukraine

Palamarchuk Olga Serhiyivna, Philosophy Doctor, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Faculty of Medicine No. 2, SU "Uzhhorod National University", olga.palamarchuk@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9742-1906>, Uzhhorod, Ukraine

Feketa Tamara Yuryivna, orthopedist-traumatologist, Transcarpathian regional children's sanatorium "Malyatko", tamara.feketa@uzhnu.edu.ua, Uzhhorod, Ukraine

Mathematical modeling of the dependence between HRV parameters and indicators of body composition in children of primary school age

Parameters of heart rate variability (HRV) are considered an accessible and highly informative marker of the functional state of the autonomic nervous system (ANS). We used the most informative indicators of HRV to study the relationship between parameters of the functional state of the ANS and indicators of the components of the body composition in children of primary school age. Components of the body composition were determined by the bioimpedance method using the body composition analyzer "TANITA-BC-601" (Japan). The study involved 222 children aged 10 to 11 years, of which 128 were girls and 94 were boys, who studied in primary grades of secondary schools in Uzhhorod. The highest correlation coefficients were found between indicators of the body composition and indicators of the total power of autonomous regulation SDNN and the activity of the parasympathetic division RMSSD and pNN50. In particular, the correlation coefficient between FFM and SDNN was equal to 0.88 ($p < 0.001$), between VF and SDNN it was equal to 0.88 ($p < 0.001$), between VF and RMSSD it was 0.91 ($p < 0.001$), between VF and pNN50 was 0.85 ($p < 0.001$). Relatively low, but statistically significant, was the correlation between indicators of the body composition and the percentage contribution of waves of different frequency domain of the heart rhythm to the total HRV. Correlation and univariate regression analysis made it possible to confirm and quantify the relationship between indicators of body composition and a number of indicators of the functional state of the ANS, in particular with SDNN, ms and TP, ms^2 , indicators of parasympathetic ANS activity (RMSSD, ms, pNN50, %) and some spectral parameters of heart rhythm. The obtained regression equations make it possible to predict the direction and possible range of changes of the corresponding ANS indicator when the parameters of the body composition change and can be used in planning treatment and rehabilitation measures for children with excessive body weight.

Key words: autonomic nervous system, functional state, heart rhythm, autonomic dysfunctions, autonomic regulation.

Вступ. На сьогодні параметри варіабельності серцевого ритму (BCP) вважаються доступним та високоінформативним маркером функціонального стану автономної нервової системи (АНС) [1, 2]. Ці показники можуть бути отримані неінвазивно практично будь-яким діагностичним приладом, який дозволяє здійснювати тривалу реєстрацію ЕКГ. Найчастіше вживаним варіантом цієї технології є реєстрація ЕКГ протягом 5-хвилинних проміжків із наступним автоматизованим визначенням тривалості послідовних кардіоінтервалів у мс. Отримані у такий спосіб дані використовуються для розрахунку параметрів BCP часового домену та спектральних показників кривої BCP [3]. Найбільш інформативними показниками BCP вважаються:

SDNN, мс. (standard deviation of the NN interval) – стандартне відхилення інтервалів R-R. Це – показник, який сумує всі джерела мінливості R-R інтервалів за період спостереження і відображає сумарний ефект автономної регуляції серцевого ритму

RMSSD, мс. (the square root of the mean squared differences of successive NN intervals) – квадратний корінь із суми квадратів різниці між послідовними інтервалами RR. Значення даного показника визначається переважно впливом парасимпатичної ланки автономної регуляції.

pNN50 (%) – відсоток NN50 від загальної кількості послідовних пар інтервалів, що розрізняються більш ніж на 50 мілісекунд, який також вважається показником активності парасимпатичної ланки АНС.

TP, ms^2 – Загальна потужність спектральної кривої BCP (**TP** – Total power) в діапазоні від 0,003 до 0,40 Гц. Відображає сумарну активність автономного впливу на серцевий ритм і має той же фізіологічний сенс, що і SDNN.

HF, ms^2 – потужність високочастотних коливань кривої BCP (**HF** – high frequency) в діапазоні частот 0,15-0,40 Гц., яка в основному, пов'язана з дихальними рухами і відображає вагусний контроль серцевого ритму.

LF, ms^2 – потужність низькочастотних коливань (**LF** – low frequency) в діапазоні частот 0,04-0,15 Гц. Вони мають змішане походження. На потужність в цьому діапазоні впливають як симпатична (пере-

важно), так і парасимпатичної ланка АНС. Механізм цих коливань має барорефлекторну природу.

VLF, ms^2 – потужність дуже низькочастотних коливань (**VLF** – very low frequency) в діапазон частот 0,003-0,04 Гц. Фізіологічні чинники, що впливають на них, – ренінангіотензинова система, концентрація катехоламінів в плазмі, системи терморегуляції та ін.

LF/HF – симпато-вагальний індекс, що характеризує співвідношення симпатичних і парасимпатичних впливів на ритм серця [4, 5].

Ми використали ці показники для вивчення взаємозв'язку між параметрами функціонального стану АНС та показниками компонентного складу тіла у дітей молодшого шкільного віку. Актуальність такого дослідження аргументується, тим, що у дітей цього віку часто діагностуються автономні дисфункції, які, на нашу думку, можуть виникати завдяки надмірному накопиченню жиру в їх організмі, що пов'язано із неправильним харчуванням, гіподинамією та стресовими розладами [6, 7, 8].

Методологія та методи дослідження. В нашому дослідженні для аналізу BCP була використана методика 5-хвилинної реєстрації ЕКГ у II стандартному відведенні (рис. 1). Реєстрація проводилась за допомогою кардіологічного комп'ютерного діагностичного приладу «КардіоЛаб» (Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна). Компонентний склад тіла визначали біоімпедансним методом за допомогою аналізатора складу тіла "TANITA-BC-601" (Японія). Зокрема, визначались: маса тіла (М, кг), індекс маси тіла (ІМТ, kg/m^2), вміст загального жиру (ВЗЖ %), рейтинг вісцерального жиру (РВЖ, од.), вміст безжирових мас (ВБМ, %).

До дослідження було залучено 222 дітей віком від 10 до 11 років, з яких 128 – дівчат та 94 хлопчики, які навчались в початкових класах середніх шкіл м. Ужгорода. Критеріями виключення із дослідження були наявність гострих та хронічних запальних процесів, встановлених ендокринних, серцево-судинних, респіраторних, шлунково-кишкових, нервових та аутоімунних захворювань. Обстеження та аналіз отриманих даних проводився без врахування статеві належності,

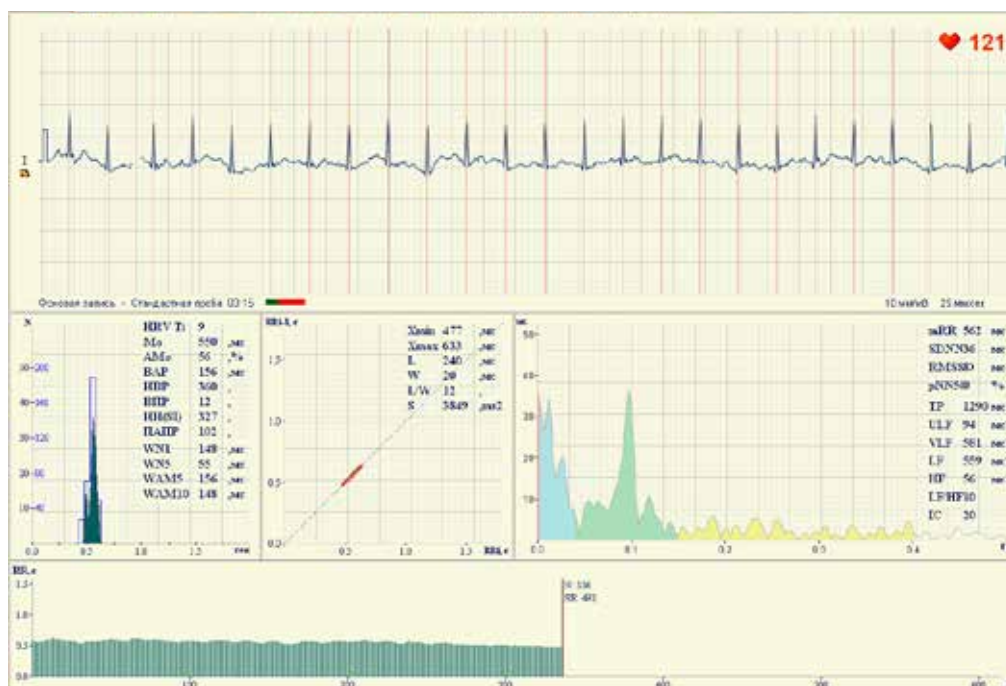


Рис. 1. Приклад реєстрації кардіоінтервалів з допомогою приладу «Кардіолаб» у обстеженого М., 10 років

оскільки у цьому віці статеві відмінності у морфофункціональному розвитку є несуттєвими і нівелюються використанням не абсолютних, а – відносних показників маси та складу тіла [1, 2, 3].

Взаємозв'язок між показниками компонентного складу тіла та параметрами ВСР досліджувався шляхом розрахунку коефіцієнта кореляції Пірсона. Кореляція вважалася вірогідною при рівні значимості $p < 0,05$. У випадку знаходження значимих кореляційних зв'язків між окремими параметрами характер та сила цих взаємозв'язків вивчалась методом однофакторного регресійного аналізу з побудовою відповідних математичних регресійних моделей за допомогою програмного пакету Minitab® 21.3.1 (freeware version)

Результати та обговорення. Найвищі і високо вірогідні коефіцієнти кореляції були знайдені між показниками компонентного складу тіла та показниками загальної потужності автономної регуляції SDNN та активності парасимпатичної ланки RMSSD і pNN50. Зокрема, коефіцієнт кореляції між ВБМ та SDNN дорівнював 0,88 ($p < 0,001$), між РВЖ та SDNN був рівний – 0,88 ($p < 0,001$), між РВЖ та RMSSD – складав – 0,91 ($p < 0,001$), між РВЖ та pNN50 – складав – 0,85 ($p < 0,001$). Дещо менші значення коефіцієнту кореляції були знайдені між спектральними показникам ВСР та показниками компонентного складу тіла. Наприклад, TP позитивно корелював із ВБМ з коефіцієнтом 0,69 ($p < 0,01$) та негативно – із ІМТ, ВЗЖ та РВЖ із коефіцієнтами кореляції відповідно – 0,63 ($p < 0,01$), – 0,65 ($p < 0,01$) та – 0,70 ($p < 0,01$). Відносно низькою, але статистично вірогідною, була кореляція між показниками компонентного складу тіла та відсотковим вкладом хвиль різного частотного діапазону серцевого ритму у загальну ВСР. Зокрема, VLF% позитивно корелював із ІМТ, ВЗЖ та РВЖ із коефіцієнтами кореляції відповідно 0,65 ($p < 0,01$), 0,57 ($p < 0,05$) та 0,59 ($p < 0,01$) і нега-

тивно – із ВБМ з коефіцієнтом – 0,57 ($p < 0,05$). Достатньо високою була кореляція інтегрального показника автономної регуляції ПАРС з усіма показниками компонентного складу тіла. Так, коефіцієнти кореляції між ПАРС та ІМТ, ВЗЖ, РВЖ ат ВБМ склали відповідно 0,76 ($p < 0,01$), 0,78 ($p < 0,01$), 0,78 ($p < 0,01$) та – 0,73 ($p < 0,01$). Звертає на себе увагу відсутність статистично вірогідної кореляції абсолютних значень потужності хвиль ВСР різної частоти (LF, HF, VLF) та LF% з усіма показниками компонентного складу тіла. Причиною цього може бути дуже високий діапазон відхилень індивідуальних показників від їх середньогрупових значень у досліджуваній вибірці [9].

Наступним кроком статистичного аналізу була побудова регресійних моделей між тими парами показників, які статистично вірогідно корелювали між собою, за схемою однофакторного регресійного аналізу. У цій схемі один із показників приймався за функцію (Y), яка залежить від аргументу (X). Така залежність може описуватися лінійним або квадратичним рівнянням, яке статистично оцінюється з точки вірогідності цієї моделі на рівні $p \leq 0,05$ [10]. Отримані рівняння дозволяють кількісно оцінити вплив аргументу на дисперсію значень функції і з високою ймовірністю передбачити напрям зсуву функції у наступних спостереженнях [11]. В якості функції ми розглядали показники функціонального стану АНС, а в якості аргументу – параметри компонентного складу тіла.

В якості прикладу розглянемо регресійну математичну модель, яка описує взаємозв'язок між SDNN в якості функції (Y) та ІМТ в якості аргумента (X). Найбільш точним для цієї моделі виявилось підібране квадратичне рівняння, що описує зв'язок між Y та X, яке має вигляд:

$$Y = 114,7 - 3,625 X + 0,03168 X^2$$

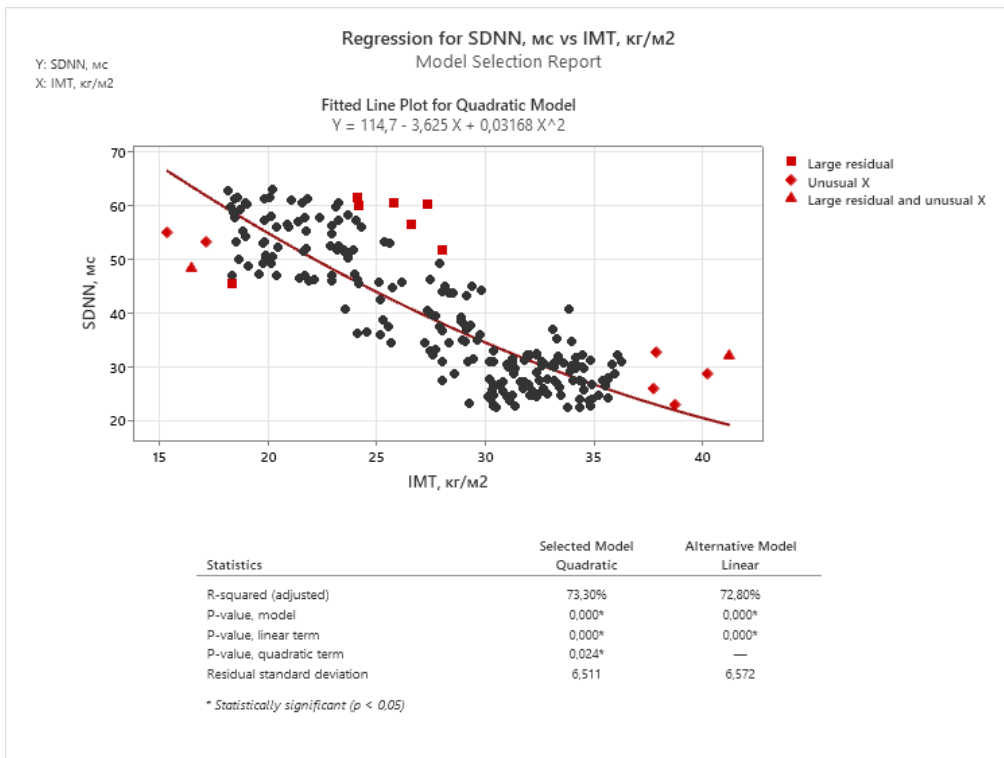


Рис. 2. Регресійна модель взаємозв'язку між SDNN (мс) і IMT (кг/м²)

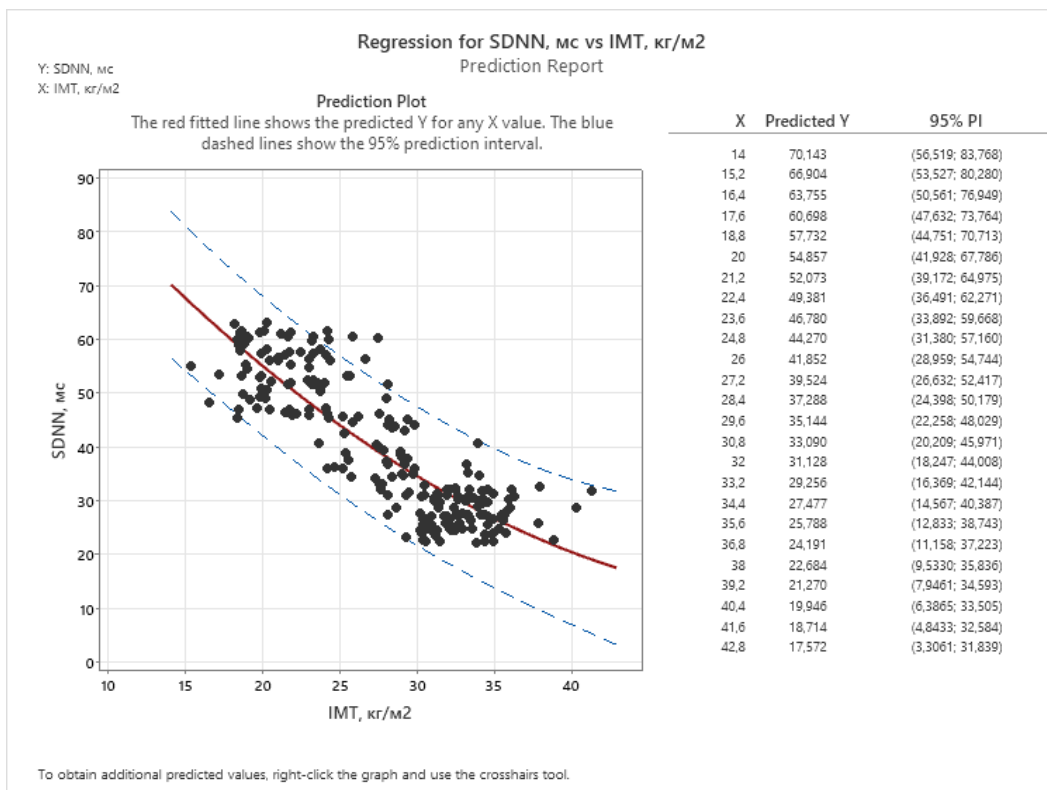


Рис. 3. Прогноз можливих варіацій SDNN (мс) залежно від значення IMT (кг/м²) в 95% довірчому інтервалі

Взаємозв'язок між SDNN (мс) і IMT (кг/м²) у цій моделі статистично вірогідним (p<0,001) і згідно з цією моделлю 73,3 % варіацій SDNN можуть бути пояснені впливом IMT (рис. 2).

Оскільки модель добре узгоджується з отриманими даними, це рівняння можна використовувати для прогнозування SDNN в мс залежно від значення IMT в кг/м², або для знаходження значень IMT, які відповідають

бажаному значенню або діапазону значень SDNN, що злюструє рис. 3.

Висновки. Кореляційний та однофакторний регресійний аналіз дозволили підтвердити та кількісно характеризувати зв'язок між показниками компонентного складу тіла та низкою показників функціонального стану АНС, зокрема з SDNN, мс та TP, мс², показниками активності парасимпатичної АНС

(RMSSD, мс, pNN50, %) та деякими спектральними параметрами серцевого ритму. Отримані рівняння регресії дають змогу передбачити напрям та можливий діапазон змін відповідного показника АНС при зміні параметрів компонентного складу тіла і можуть бути використані при плануванні лікувальних та реабілітаційних заходів у дітей з надмірною масою тіла.

Інформація про конфлікт інтересів. Конфлікту інтересів немає.

Інформація про фінансування. Автор гарантує, що він не отримував жодних винагород у будь-якій формі, здатних вплинути на результати роботи.

Особистий внесок кожного автора у виконання роботи: Петрик К.Ю. – збір матеріалу дослідження, аналіз отриманих результатів; Лешко М.М. – аналіз отриманих результатів, підготовка тексту статті; Паламарчук О.С. – ідея, мета, формулювання висновків; Фекета Т.Ю. – збір матеріалу дослідження, аналіз науково-методичної літератури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Catai AM, Pastre CM, Godoy MF de, Silva E da, Takahashi AC de M, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Braz J Phys Ther.* 2020;24(2):91–102.
2. Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Curr Cardiol Rev.* 2021; 17(5):e160721189770.
3. Hayano J, Yuda E. Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability. *J Physiol Anthropol.* 2019;38(1):3.
4. Porges SW. Heart rate variability: A personal journey. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2022;47(4):259–71.
5. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science.* 1981;213(4504):220–2.
6. Schneider M, Schwerdtfeger A. Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis. *Psychol Med.* 2020;50(12):1937–48.
7. Campos JO, Barros MAV, Oliveira TLPSA, Nobre IG, de Moraes AS, Santos MAM, et al. Cardiac autonomic dysfunction in school age children with overweight and obesity. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2022;32(10):2410–7.
8. Leppänen MH, Haapala EA, Veijalainen A, Seppälä S, Oliveira RS, Lintu N, et al. Associations of cardiometabolic risk factors with heart rate variability in 6- to 8-year-old children: The PANIC Study. *Pediatr Diabetes.* 2020;21(2):251–8.
9. Hartevelde LM, Nederend I, Ten Harkel ADJ, Schutte NM, de Rooij SR, Vrijkotte TGM, et al. Maturation of the cardiac autonomic nervous system activity in children and adolescents. *J Am Heart Assoc.* 2021;10(4):e017405.
10. Ali P, Younas A. Understanding and interpreting regression analysis. *Evid Based Nurs.* 2021;24(4):116–8.
11. Bzovsky S, Phillips MR, Guymer RH, Wykoff CC, Thabane L, Bhandari M, et al. The clinician's guide to interpreting a regression analysis. *EYE.* 2022;36(9):1715–7.