

УДК 612.13

DOI 10.31654/2786-8478-2024-BN-1-2-86-93

Коваленко С. О.

доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри спортивних дисциплін
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
kovstas@ukr.net
orcid.org/0000-0002-4631-0464

Циганник Р. А.

аспірант кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
roma.tsygannyk@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7955-7343

**ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ
ПРИ ГРАДУЙОВАНІЙ ПАСИВНІЙ ОРТОПРОБІ У ЧОЛОВІКІВ**

Проведення пасивної ортопроби ускладнює роботу гемодинаміки за умов виключення впливу скорочень м'язів нижніх кінцівок для забезпечення повернення крові до серця. Важливою частиною пристосувальних зрушень при цьому можуть бути зміни часових характеристик варіабельності серцевого ритму (BCP).

Мета. З'ясувати зміни часових показників BCP у здорових молодих чоловіків при пасивній градуальній ортопробі та у період відновлення після неї, їх залежність від вихідного рівня вегетативного тону та від рівня рухової активності.

Вимірювання здійснювали на 76 чоловіках віком 18-25 років з дотриманням основних біоетичних положень. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально на ортостатичному столі упродовж 5-10 хвилин вимірювали показники варіабельності серцевого ритму. Вимірювання повторювали на 5-й хвилині після нахилу на 15°, 30°, 45°, 60° та на 20-й хвилині при нахилі 60°, через 5 хвилин після повернення у горизонтальне положення. Варіабельність серцевого ритму реєстрували за допомогою кардіодатчика Polar W.I.N.D. Link у програмі Polar Protrainer 5.0 (Polar Electro OY, Finland). Оцінювали наступні показники часового аналізу BCP: SDDNN, rMSSD, pNN50, cV, а також інтегральний індекс напруження (IH).

При пасивній ортопробі починаючи з рівня 30° відбувалось вірогідне зменшення SDNN, rMSSD, pNN50, пропорційне кутів нахилу, а з навантаження 45° – збільшення IH. Максимум реактивності був досягнутий для SDNN, rMSSD, pNN50 вже на 5-й хвилині в положенні 60° та залишається сталим упродовж перебування в ньому 20 хвилин. Це може бути свідченням пригнічення парасимпатичних та посилення симпатичних впливів на ритмогенез серця.

Після завершення проби і переході в вихідне горизонтальне положення спостерігали феномен зверхвідновлення для всіх часових показників варіабельності серцевого ритму.

Виконання градуальної пасивної ортопроби приводило до зменшення варіабельності серцевого ритму більш вираженому у парасимпатотоніків і за рахунок в більшому ступені пригнічення тону парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

Регулярні фізичні навантаження в основному впливають на рівень функціонального стану осіб при пасивній градуальній ортопробі, а не на особливості варіабельності серцевого ритму. Перспективи подальших досліджень вбачаються в детальному аналізі хвильової структури серцевого ритму при пасивній градуальній ортопробі.

Ключові слова: *варіабельність серцевого ритму, пасивна ортопроба, вегетативний тонус, атлети, адаптація.*

Вступ. Дослідження особливостей реактивності серцево-судинної системи на функціональні навантаження дозволяє об'єктивно оцінити та коригувати функціональний стан людей різного віку, статі, професійної діяльності. Проведення пасивної ортопроби ускладнює роботу гемодинаміки за умов виключення впливу скорочень м'язів нижніх кінцівок для забезпечення повернення крові до серця. Важливою частиною пристосувальних зрушень при цьому можуть бути зміни часових характеристик варіабельності серцевого ритму (BCP) [1].

Вимірювання змін в серцево-судинній системі при переході з горизонтального положення в положення вверх головою проводяться вже декілька століть [2]. В сучасній науковій літературі наведені дані про вплив активної ортопроби у людей різного віку, статі, спортсменів на різні прояви центральної та периферійної гемодинаміки [3, 4]. Проаналізовані особливості реактивності гемодинаміки та її повільних коливань при активній пробі у людей з різним рівнем вегетативного тонузу [5]. Також велика кількість публікацій присвячена впливу пасивної ортопроби в основному на центральну гемодинаміку у осіб з вегетативними порушеннями [2, 6, 7, 8, 9]. В той же час не досліджені особливості змін часових показників варіабельності серцевого ритму при такому впливі, їх індивідуальні особливості у людей.

Мета. З'ясувати зміни часових показників BCP у здорових молодих чоловіків при пасивній градуальній ортопробі та у період відновлення після неї, їх залежність від вихідного рівня вегетативного тонузу та від рівня рухової активності.

Методи та організація дослідження. Вимірювання здійснювали на 76 чоловіках віком 18-25 років – студентах Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 рр.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23 вересня 2009 року.

Всі вони за даними медичного обстеження були здорові, не мали гострих та хронічних захворювань.

Група спортсменів (I, n=17) складалась з представників наступних видів: єдиноборці (ММА, бокс, боротьба, n=8), легка атлетика (біг 400 м, n=4), веслування на байдарках і каное (n=5). Всі спортсмени мали розряд кандидат в майстри спорту чи майстер спорту, регулярно тренувались не менше 5 раз на тиждень з тривалістю кожного заняття від 1 до 3 годин. Контрольну групу (II, n=17) склали чоловіки такого ж віку, що не займались регулярними фізичними тренуваннями.

Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально на ортостатичному столі упродовж 5-10 хвилин вимірювали показники варіабельності серцевого ритму. Вимірювання повторювали на 5-й хвилині після нахилу на 15°, 30°, 45°, 60° та на 20-й хвилині при нахилі 60°, через 5 хвилин після повернення у горизонтальне положення.

Варіабельність серцевого ритму реєстрували за допомогою кардіодатчика Polar W.I.N.D. Link., розташованого на грудній клітці. Дані з пристрою передавались через приймач Polar Wearlink W.I.N.D на персональний комп'ютер. Аналіз даних здійснювали у програмі програми Polar Protrainer 5.0 (Polar ElectroOY, Finland) та програмі Caspico [a/c України №11262].

Оцінювали наступні показники часового аналізу BCP [10]: SDDNN, rMSSD, pNN₅₀, cV, а також інтегральний індекс напруження (IH).

Рівень вагосимпатичної взаємодії оцінювали за варіабельністю серцевого ритму, зокрема, показників нормалізованого відношення потужності спектру коливань t-RR у діапазоні 0,15-0,4 Гц до потужності спектру у діапазоні 0,04-0,4 Гц – HF_{norm}

[1]. За методом сигнальних відхилень в групі вимірюваних виділяли три підгрупи: симпатотоніки ($HF_{norm} < 42,9\%$, $n=26$), нормотоніки (HF_{norm} від $49,2\%$ до $61,9\%$, $n=29$) та парасимпатотоніки ($HF_{norm} > 61,9\%$, $n=21$).

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA), Polar Protrainer 5.0 (Polar Electro OY, Finland). Застосовували метод однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм χ^2 . Для параметричної статистики розраховували середнє арифметичне (M), стандартну похибку вибіркового середнього (m). Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Fisher.

Результати досліджень та їх обговорення. Вихідний рівень часових показників ВСР відповідав нормам для осіб молодого віку (табл. 1). При переході в положення 15° змін будь-якого з них не відбувалось. Починаючи з рівня 30° відбувалось вірогідне зменшення SDNN, rMSSD, pNN₅₀, пропорційне кутові нахилу, а з навантаження 45° – збільшення ІН. Максимум реактивності був досягнутий для SDNN, rMSSD, pNN₅₀ вже на 5-й хвилині в положенні 60° та залишався сталим упродовж перебування в ньому 20 хвилин. В той же час ІН при цьому збільшувався. Це є свідченням пригнічення парасимпатичних та посилення симпатичних впливів на ритмогенез серця.

Таблиця 1

Рівні часових показників ВСР при градуйованій пасивній ортопробі у чоловіків ($n=76$)

| Умови | Показники | | | | |
|-------------|---------------|--------------|---------------|-----------------------|------------|
| | IN, у.о. | SDNN, мс | rMSSD, мс | PNN ₅₀ , % | CV, % |
| спокій | 81,60±9,14 | 70,64±4,70 | 75,28±8,13 | 30,39±2,86 | 7,45±0,39 |
| 15° | 88,33±9,84 | 66,70±4,36 | 67,84±7,98 | 26,97±2,94 | 7,09±0,36 |
| 30° | 92,57±8,96 | 59,81±3,08* | 46,63±4,59* | 18,11±2,27* | 6,89±0,26 |
| 45° | 106,74±9,43* | 55,21±2,49* | 30,04±2,23* | 9,36±1,33* | 7,16±0,26 |
| 60° | 131,58±11,46* | 52,63±2,57* | 24,05±1,87* | 5,17±0,76* | 7,55±0,29 |
| 60°-2 | 151,96±16,51* | 54,28±4,49* | 23,89±2,39* | 5,19±0,87* | 7,67±0,39 |
| відновлення | 43,50±5,13* | 104,25±6,37* | 126,70±10,17* | 48,89±3,07* | 9,87±0,48* |

Примітки. * – $p < 0,05$ у порівнянні з рівнем спокою

Вельми цікавою була динаміка часових показників ВСР у період повернення у вихідне положення лежачи після проведення градуйованої пасивної ортопроби. Так спостерігався феномен зверхвідновлення для всіх з них. Для rMSSD та pNN₅₀ амплітуда відновлення відповідала амплітуді реакцій зменшення цих показників при навантаженні 60° (відповідно $51,42 \pm 5,99$ та $-51,38 \pm 7,23$ мс для rMSSD та $18,50 \pm 2,14$ та $-25,51 \pm 2,64$ мс для pNN₅₀). В той же час збільшення SDNN при відновленні суттєво переважало його зменшення на 60° (відповідно $33,61 \pm 3,85$ та $-16,35$ мс, $p < 0,01$). Цілком можливо зміни цього показника відображають не тільки зрушення активності парасимпатичної ланки автономної нервової системи, але й симпатичного відділу, наявність перехідних процесів у частоті серцевих скорочень.

Порівняння реакцій часових показників на пробу показало їх варіативність, що може бути обумовлено індивідуальними особливостями. Нами аналізувались особливості змін ВСР в залежності від рівня ваго-симпатичної рівноваги. Так за методом сигнальних відхилень показника HF_{norm} були виділені три групи: симпатотоніки (I),

нормо тоніки (II) та парасмпатотоніки. Закономірно вже у спокої лежачи перед початком проби всі показники ВСР мали високо достовірні відмінності між собою, оскільки вони також в певній мірі відображають рівні активності симпатичної та парасимпатичної ланок автономної нервової системи [11].

Динаміка змін ІН упродовж проби характеризувалась наступним (рис. 1). У симпатотоніків вірогідні зміни цього показника відбувались тільки на 20-й хвилині положення 60°, у нормотоніків – збільшення ІН починалось з 45°, а у парасимпатотоніків – з 30°. При максимальних градаціях проби відмінності в рівнях ІН між I та II, II та III нівелювались, а між I та III зберігались.

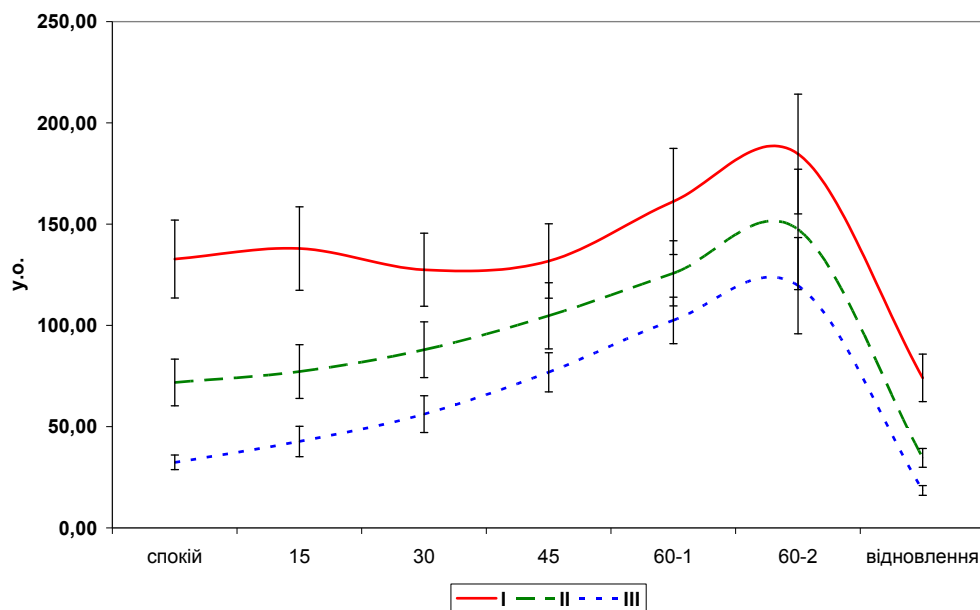


Рис. 1. Динаміка індексу напруження упродовж виконання пасивної градуальної ортопроби у симпатотоніків (I), нормотоніків (II) та парасимпатотоніків (III)

Зміни SDNN в різних в різних групах за вихідним рівнем вегетативного тонузу при пробі також мали свої особливості (рис. 2). У симпатотоніків цей показник вірогідно не змінювався, у нормотоніків зменшувався тільки на 5-й хвилині у положенні 60°, а у парасимпатотоніків – починаючи з положення 30°. Міжгрупові відмінності за цим показником повністю нівелювались на 5-й хвилині у положенні 60°, а між II та III з 45°. Зниження rMSSD при пробі відбувалось у всіх групах, в найбільшому ступені у III.

Таким чином, градуальна пасивна ортопроба приводила до зменшення варіабельності серцевого ритму більш вираженому у парасимпатотоніків і за рахунок в більшому ступені пригнічення тонузу парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

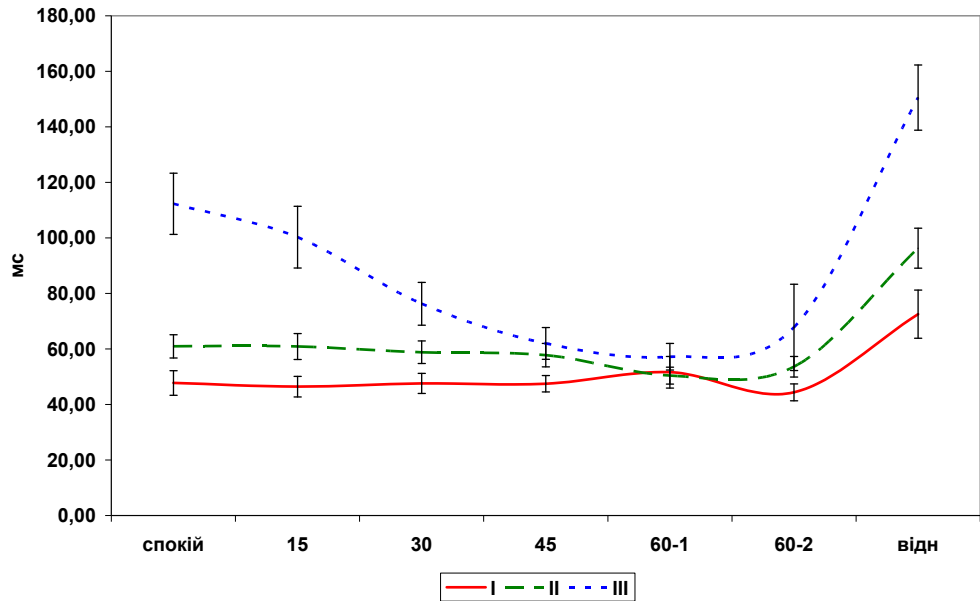


Рис. 2. Динаміка SDNN упродовж виконання пасивної градуальної ортопроби у симпатотоніків (I), нормотоніків (II) та парасимпатотоніків (III)

В період відновлення після завершення проби та повернення в горизонтальне положення також спостерігали суттєві відмінності у реактивності показників ВСР в залежності від вихідного тонуусу ВНС. Найбільшими вони були за гMSSD. Так реактивність між рівнями на 60° та відновленням за цим показником склала в групах відповідно: I – $46,88 \pm 10,67$ мс, II – $92,14 \pm 10,55$ мс, III – $183,80 \pm 16,88$ мс.

Порівняння змін часових показників ВСР при градуйованій пасивній ортопробі у спортсменів та неспортсменів показало наявність відмінностей в основному за ІН (рис. 3). Так в усіх умовах ІН у спортсменів був нижчим, реактивність меншою ніж у неспортсменів. У неспортсменів вже на рівні 15° проявляється зниження гMSSD.

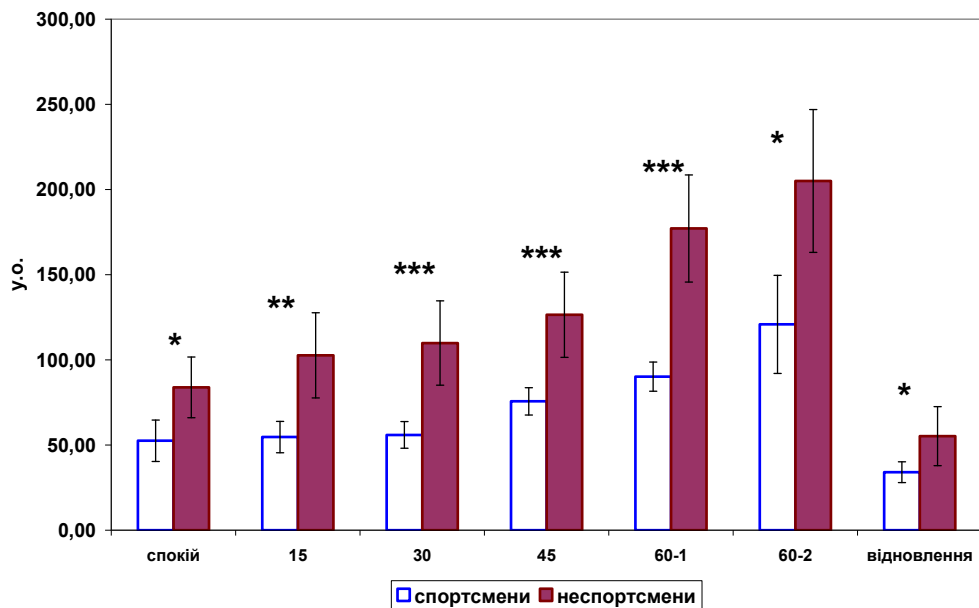


Рис. 3. Динаміка індексу напруження упродовж виконання пасивної градуальної ортопроби у спортсменів та неспортсменів.

* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

Таким чином регулярні фізичні навантаження в основному впливають на рівень функціонального стану при пробі, а не на особливості ВСР.

Висновки.

1. При пасивній ортопробі починаючи з рівня 30° відбувалось вірогідне зменшення SDNN, rMSSD, pNN₅₀, пропорційне кутові нахилу, а з навантаження 45° – збільшення ІН. Максимум реактивності був досягнутий для SDNN, rMSSD, pNN₅₀ вже на 5-й хвилині в положенні 60° та залишався сталим упродовж перебування в ньому 20 хвилин. Це може бути свідченням пригнічення парасимпатичних та посилення симпатичних впливів на ритмогенез серця.

2. Після завершення проби і переході в вихідне горизонтальне положення спостерігали феномен зверхвідновлення для всіх часових показників варіабельності серцевого ритму.

3. Виконання градуальної пасивної ортопроби приводило до зменшення варіабельності серцевого ритму більш вираженому у парасимпатотоніків і за рахунок в більшому ступені пригнічення тону парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

4. Регулярні фізичні навантаження в основному впливають на рівень функціонального стану осіб при пасивній градуальній ортопробі, а не на особливості варіабельності серцевого ритму

Перспективи подальших досліджень вбачаються в детальному аналізі хвильової структури серцевого ритму при пасивній градуальній ортопробі.

Література

1. Коваленко С.О. Характеристика та теоретичні основи методів аналізу варіабельності серцевого ритму. Український журнал медицини, біології та спорту. 2017, № 2. С. 223–233. doi: 10.26693/jmbs02.02.223

2. Cheshire W. J., Goldstein D. Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. Clin Auton Res. 2019, № 29 (2). P. 215–230. doi: 10.1007/s10286-019-00598-9

3. Yukhymenko L., Makarchuk M., Imas Y., Shcherbashyn Y., Korobeynikova L., Korobeynikov G., Dutchak M. Link between brain circulation and nervous mobility of athletes and non-athletes during the orthostatic test (2020) Journal of Physical Education and Sport, 2020, 20 (6), art. no. 493, pp. 3660-3670. Cited 3 times. doi: 10.7752/jpes.2020.06493

4. Feeley M.A., Ito G.A., Tsubota S.B., Sawai T.B., Nakata H.A., Otsuki S.A., Miyamoto, T. Impact of Orthostatic Stress on Cardiorespiratory Response in Volleyball Player: Insights from Lower Body Negative Pressure Load Test (2024) Advanced Biomedical Engineering, 2024, 13, pp. 35-42 doi:10.14326/abe.13.35

5. Андрощук О.І., Кудій Л.І., Рибалко А.В., Черненко Н.П. Хвильова структура серцевого ритму при ортопробі у осіб з різним рівнем вегетативного тону. Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки, 2021 (1), 4-11. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2021-1-4-11

6. Aponte-Becerra L., Novak P. Tilt Test: A Review. J Clin Neurophysiol. 2021. № 38 (4). P. 279–286. doi: 10.1097/WNP.0000000000000625

7. Sutton R., Fedorowsk, A., Olshansky B., Gert van Dijk J., Abe H., Brignole M., de Lange F., Kenny R., Lim P., Moya A., Rosen S., Russo V., Stewart J., Thijs R., Benditt D. Tilt testing remains a valuable asset. Eur Heart J. 2021, № 42 (17). P. 1654–1660. doi: 10.1093/eurheartj/ehab084

8. White L., Jones H., Davies A. What is a tilt table test and why is it performed during the investigation of syncope? Br J Hosp Med (Lond). 2021, № 82 (10). P. 1–7. doi: 10.12968/hmed.2020.0462

9. Jelavić, M., Babić Z., Hećimović H., Erceg V., Pintarić H. The role of tilt-table test in differential diagnosis of unexplained syncope. Acta Clin Croat. 2015, № 54 (4). P. 417–423.

10. Heart Rate Variability Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. Eur Heart J, 1996, 17(3),354-81.

11. Androshchuk O. I., Zavorodnia V. A. Correlation of vegetative tone indicator with Kerdo index and heart rate variability. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*, 2018, (1), 3-6. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-1-3-6

References

1. Kovalenko, SO. (2017) Kharakterystyka ta teoretychni osnovy metodiv analizu variabelnosti sertsevoho rytmu [Characteristics and theoretical foundations of methods for analyzing heart rate variability]. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. № 2. С. 223–233. doi: 10.26693/jmbs02.02.223
2. Cheshire, W. J., Goldstein, D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. *Clin Auton Res*. № 29 (2). P. 215–230. doi: 10.1007/s10286-019-00598-9
3. Yukhymenko, L., Makarchuk, M., Imas, Y., Shcherbashyn, Y., Korobeynikova, L., Korobeynikov, G., Dutchak, M. (2020) Link between brain circulation and nervous mobility of athletes and non-athletes during the orthostatic test (2020) *Journal of Physical Education and Sport*, 20 (6), art. no. 493, pp. 3660-3670. Cited 3 times. doi: 10.7752/jpes.2020.06493
4. Feeley, MA , Ito, G.A , Tsubota, S.B , Sawai, T. B , Nakata, H.A , Otsuki, S.A., Miyamoto, T. (2024) Impact of Orthostatic Stress on Cardiorespiratory Response in Volleyball Player: Insights from Lower Body Negative Pressure Load Test (2024) *Advanced Biomedical Engineering*, 13, pp. 35-42 doi:10.14326/abe.13.35
5. Androshchuk, O.I., Kudii, L.I., Rybalko, A.V., Chernenko, N.P. Khvylova struktura sertsevoho rytmu pry ortoprobi u osib z riznym rivnem vehetatyvnoho tonusu [Wave structure of heart rhythm during orthotest in individuals with different levels of autonomic tone]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriya: Biolohichni nauky*, 2021 (1), 4-11. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2021-1-4-11
6. Aponte-Becerra, L., Novak, P. (2021) Tilt Test: A Review. *J Clin Neurophysiol*. № 38 (4). P. 279–286. doi: 10.1097/WNP.0000000000000625
7. Sutton, R., Fedorowski, A., Olshansky, B., Gert van Dijk, J., Abe, H., Brignole, M., de Lange, F., Kenny, R., Lim, P., Moya, A., Rosen, S., Russo, V., Stewart, J., Thijs, R., Benditt, D. (2021) Tilt testing remains a valuable asset. *Eur Heart J*. № 42 (17). P. 1654–1660. doi: 10.1093/eurheartj/ehab084
8. White, L., Jones, H., Davies, A. (2021) What is a tilt table test and why is it performed during the investigation of syncope? *Br J Hosp Med (Lond)*. № 82 (10). P. 1–7. doi: 10.12968/hmed.2020.0462
9. Jelavić, M., Babić, Z., Hećimović, H., Erceg, V., Pintarić, H. (2015) The role of tilt-table test in differental diagnosis of unexplained syncope. *Acta Clin Croat*. № 54 (4). P. 417–423.
10. Heart Rate Variability Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. (1996) *Eur Heart J*, 17(3),354-81.
11. Androshchuk, O. I., & Zavorodnia, V. A. (2018). Correlation of vegetative tone indicator with Kerdo index and heart rate variability. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriya: Biolohichni nauky*, (1), 3-6. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-1-3-6

Kovalenko S.

Doctor of biological Sciences, Professor,
 Professor of the Sport Disciplines department
 of The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
 kovstas@ukr.net
 orcid.org/0000-0002-4631-0464

Tsyhannyk R.

PhD student, Department of Anatomy, Physiology and Physical Rehabilitation,
 The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
 roma.tsyhannyk@gmail.com
 orcid.org/0000-0001-7955-7343

HEART RATE VARIABILITY DURING GRADED PASSIVE ORTHOTEST IN MEN

The passive orthotest complicates the hemodynamics, provided that the influence of lower extremity muscle contractions is excluded to ensure blood return to the heart. An important part of adaptive changes in this case may be changes in the time characteristics of heart rate variability (HRV).

Objective. To find out the changes in HRV time parameters in healthy young men during passive graded orthotest and during the recovery period after it, their dependence on the initial level of autonomic tone and on the level of their motor activity.

The measurements were performed on 76 men aged 18-25 years in compliance with the basic bioethical guidelines. After resting in a horizontal position on an orthostatic table for 5-10 minutes, heart rate variability was measured. The measurements were repeated at 5 minutes after a 15°, 30°, 45°, 60° tilt and at 20 minutes at a 60° tilt, 5 minutes after returning to a horizontal position. Heart rate variability was recorded using the Polar W.I.N.D. Link cardiac sensor in the Polar Protrainer 5.0 program (Polar ElectroOY, Finland). The following indicators of HRV temporal analysis were evaluated: SDDNN, rMSSD, pNN₅₀, cV, and integral stress index (SI).

In the passive orthotest, starting at 30°, there was a significant decrease in SDNN, rMSSD, pNN₅₀, proportional to the angle of inclination, and with a load of 45°, an increase in IN. The maximum reactivity was achieved for SDNN, rMSSD, pNN₅₀ already at the 5th minute in the 60° position and remained constant during the stay in it for 20 minutes. This may be an indication of the suppression of parasympathetic and enhancement of sympathetic effects on cardiac rhythmogenesis.

After completion of the test and transition to the initial horizontal position, the phenomenon of over-recovery was observed for all time indices of heart rate variability.

The performance of the graded passive orthotest led to a decrease in heart rate variability more pronounced in parasympathotonics and due to a greater degree of suppression of the tone of the parasympathetic link of the autonomic nervous system.

Regular physical activity mainly affects the level of functional state of individuals in passive graded orthoprobe test, but not the peculiarities of heart rate variability.

Prospects for further research are seen in a detailed analysis of the wave structure of the heart rhythm during passive graded orthoprobe.

Key words: heart rate variability, passive orthotest, autonomic tone, athletes, adaptation.

**Стаття до редакції надійшла 04.06.2024 року
Рецензія на статтю надійшла 19.06.2024 року**