

УДК: 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-102-108

**Роман Анатолійович Циганник**

аспірант кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького  
roma.tsygannyk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-7343>

**Олексій Володимирович Каленіченко**

кандидат біологічних наук, доцент  
завідувач кафедри спортивних дисциплін  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького  
sport\_fizkult@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1863-7109>

**Ірина Олександрівна Федяй**

доцент кафедри медико-біологічних основ спорту та фізичної культури  
Харківська державна академія фізичної культури  
razira1983@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7171-1622>

**Станіслав Олександрович Коваленко**

доктор біологічних наук, професор  
професор кафедри спортивних дисциплін  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького  
kovstas@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-0464>

## ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ПРИ ГРАДУАЛЬНІЙ ПАСИВНІЙ ОРТОПРОБІ

*Вимірювання артеріального тиску, серцевого ритму, викиду, показників фаз систоли серця здійснювали при градуальній (15°, 30°, 45°, 60°) пасивній ортопробі на 76 здорових молодих чоловіках віком 18-25 років. З'ясовано, що при пасивній градуальній ортопробі відбувалось суттєве підвищення діастолічного артеріального тиску до  $15,72 \pm 0,92$  мм рт.ст. при куті нахилу 60° та мени амплітудного зниження систолічного артеріального тиску ( $-6,71 \pm 1,30$  мм рт.ст.). Пасивний ортостаз призводив до зниження тривалості інтервалу RR та показників серцевого викиду, які після повернення у горизонтальне положення відновлювались. За аналізом змін фази напруження та об'ємної швидкості серцевого викиду при пасивному ортостазі постерігали прояв синдрому гіподинамії міокарду. Наявні індивідуальні відмінності у реактивності показників центральної гемодинаміки на градуальну пасивну ортопробу.*

**Ключові слова:** центральна гемодинаміка, градуальна ортопроба, функціональний стан

**Постановка питання.** Визначення функціонального стану організму людини є однією з важливих проблем сучасної біології та медицини. Важливе місце при цьому займає вивчення рівня функціонування серцево-судинної системи, можливих механізмів її пристосування до різноманітних навантажень. Зміни умов зовнішнього середовища, впливу соціальних факторів можуть призводити до зрушень норм реакції різних систем організму, що вимагає виконання досліджень на наших сучасниках. Робота є фрагментом теми «Індивідуальні особливості змін центральної та периферійної гемодинаміки при різних впливах» (№ держреєстрації 0122U201052).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Історія використання пасивної та активної ортопроби в медицині започаткована в дослідженнях із діагностування станів, пов'язаних із порушеннями регуляції артеріального тиску та кровопостачанням мозку. Ці тести були розроблені для оцінювання того, як організм реагує на зміни положення тіла, зокрема на

перехід від горизонтального положення до вертикального. Тілт-тест (з англ. «Head-up Tilt Table Testing»), проба з пасивним ортостазом, проба на нахиленому столі (головою догори). У науковій літературі немає однозначної думки стосовно дати винаходу тілт-тесту та факту його першого використання. Згідно з даними W. Cheshire, D. Goldstein [1], першим ученим, який використав поворотну дошку для аналізу змін гемодинаміки у людей, вважають Егона Хельмрайха.

У 1923 р. дослідник почав вимірювати частоту серцевих скорочень у здорових дітей. Таких осіб розташовували на широкій дошці, закріплюючи їх за плечі, у ділянці тазу й за стопи, потім дітей поступово нахилили на  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$  і  $90^\circ$ .

У 1986 році розпочалася нова ера використання тривалої ортостатичної проби, що пов'язують із науковим винаходом Kenny R. A. et all [2]. Учені запропонували під час проведення проб використовувати нахилений стіл, модернізувавши технології обстеження пацієнтів, які могли перебувати в синкопальному стані незрозумілого генезу. Після такої інноваційної пропозиції в науковому світі помітно збільшилася кількість публікацій, присвячених тілт-тестуванню та використанню тривалої ортостатичної проби у хворих із запомороченнями.

В сучасній науковій літературі широко відображені дослідження впливу на гемодинаміку та хвильові її прояви активної ортопроби, виконаних в вимірюваннях на різних контингентах здорових осіб [3, 4]. Також велика кількість публікацій присвячена впливу тілт-тесту на гемодинаміку у осіб з вегетативними порушеннями [5, 6, 7, 8, 9].

Втім вимірювань норм реактивності центральної гемодинаміки на такого роду впливи недостатньо.

**Мета.** З'ясувати особливості рівня та реактивності показників артеріального тиску, серцевого викиду, кардіодинаміки та кровонаповнення органів грудної клітки при градуальній пасивній ортопробі у здорових молодих чоловіків.

**Огляд основного матеріалу 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.

Спочатку на кінцівки та грудну клітку обстежуваного накладали реографічні та електрокардіографічні електроди, манжету для вимірювання артеріального тиску. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально на ортостатичному столі упродовж 5-10 хвилин вимірювали показники гемодинаміки гемодинаміки. Вимірювання повторювали на 5-й хвилині після нахилу на  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  та на 20-й хвилині при нахилі  $60^\circ$ , через 5 хвилин після повернення у горизонтальне положення.

Систолічний ( $AT_{\text{сист}}$ ) та діастолічний ( $AT_{\text{діаст}}$ ) артеріальний тиск вимірювали за допомогою тонометра Короткова (Reiker, Germany). Середній артеріальний тиск розраховували за формулою Хікема. Для оцінки гемодинамічних показників використовували трансторакальну тетраполярну імпедансну реоплетизмографію. Реоплетизмограму грудної клітки реєстрували на реографі ХАІ-medica standard (ХАІ-medica, Харків, Україна). За сигналами диференційованої реограми грудної клітки та електрокардіограми в програмі цього розробника розраховували наступні показники центральної гемодинаміки.

Тривалість інтервалу RR (t-RR) – відстань між найвищими ділянками зібців R сусідніх кардіоінтервалів.

Ударний індекс (УІ) знаходили шляхом поділу ударного об'єму крові на площу поверхні тіла. Ударний об'єм розраховували за методом Kubichek [10].

Серцевий індекс (CI) знаходили шляхом поділу хвилинного об'єму крові на площу поверхні тіла.

З показників кардіодинаміки оцінювали наступні: тривалість фази вигнання ( $T_{\text{вигн}}$ ), тривалість фази напруження ( $T_{\text{напр}}$ ), об'ємну швидкість серцевого викиду (ОШВ).

Крім цього розраховували рівень кровонаповнення органів грудної клітки (КН) як відношення квадрату відстані між грудними електродами реографа до квадрату електричного опору грудної клітки.

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

**Результати та їх обговорення.** Одними з основних гемодинамічних показників є рівні артеріального тиску. В стані спокою лежачи  $AT_{\text{сист}}$ ,  $AT_{\text{діаст}}$  та  $AT_{\text{сер}}$  відповідали прийнятним значенням норми для даної вікової категорії (табл. 1).

**Таблиця 1**

Показники артеріального тиску (мм рт.ст.) за різних кутів пасивної ортостатичної проби у здорових молодих чоловіків (n=76)

Умови	$AT_{\text{сист}}$	$AT_{\text{діаст}}$	$AT_{\text{сер}}$
Спокій лежачи	122,57±0,95	77,04±0,71	92,21±0,68
15°	121,84±1,01	79,21±0,85*	93,42±0,77
30°	122,50±1,07	83,16±0,86*	96,27±0,80*
45°	120,99±1,27	87,37±0,88*	98,57±0,89*
60°-1	117,43±1,36*	91,09±0,96*	99,87±1,01*
60°-2	115,86±1,36*	92,76±1,02*	100,46±1,06*
Відновлення	120,33±0,95*	80,86±0,73*	94,01±0,72*

\* -  $p < 0,05$  у порівнянні з рівнем у спокої лежачи

При експериментальних впливах  $AT_{\text{сист}}$  знижувався при нахилі 60° та залишався дещо низшим за фонові показники навіть через 5 хвилин після повернення у вихідне горизонтальне положення, що може бути свідченням зниження серцевого викиду.

Більш суттєвими були зміни  $AT_{\text{діаст}}$  – його підвищення відбувалось вже при куті нахилу 15° і при наступних градаціях нахилу було більшим. При куті тіла вимірюваного 60° упродовж 20 хвилин зміни були меншими, ніж при змінах нахилу. Через 5 хвилин після переходу в горизонтальне положення цей показник стрімко знижувався втім не до фонового рівня. Середній артеріальний тиск також підвищувався при впливах починаючи з кута 30°.

Подібні закономірності відображають включення пристосувальних механізмів повернення крові до серця при ортостазі. При цьому відбувається підвищення тону судин нижніх кінцівок, що і призводить до збільшення систолічного артеріального тиску.

Реактивність показників артеріального тиску також була вищою у випадку з  $AT_{\text{діаст}}$  (рис. 1), досягаючи 15,72±0,92 мм рт.ст. ( $p < 0,001$ ).

Разом з цим зрушення артеріального тиску мали свої індивідуальні відмінності. У двох осіб відбувалось парадоксальне зменшення  $AT_{\text{діаст}}$  при нахилі 60° відповідно на 10 та 20 мм рт.ст, у 2 – реакція цього показника при цьому була відсутня, у 9 спостерігалась гіперреактивність – більше 20 мм рт.ст.

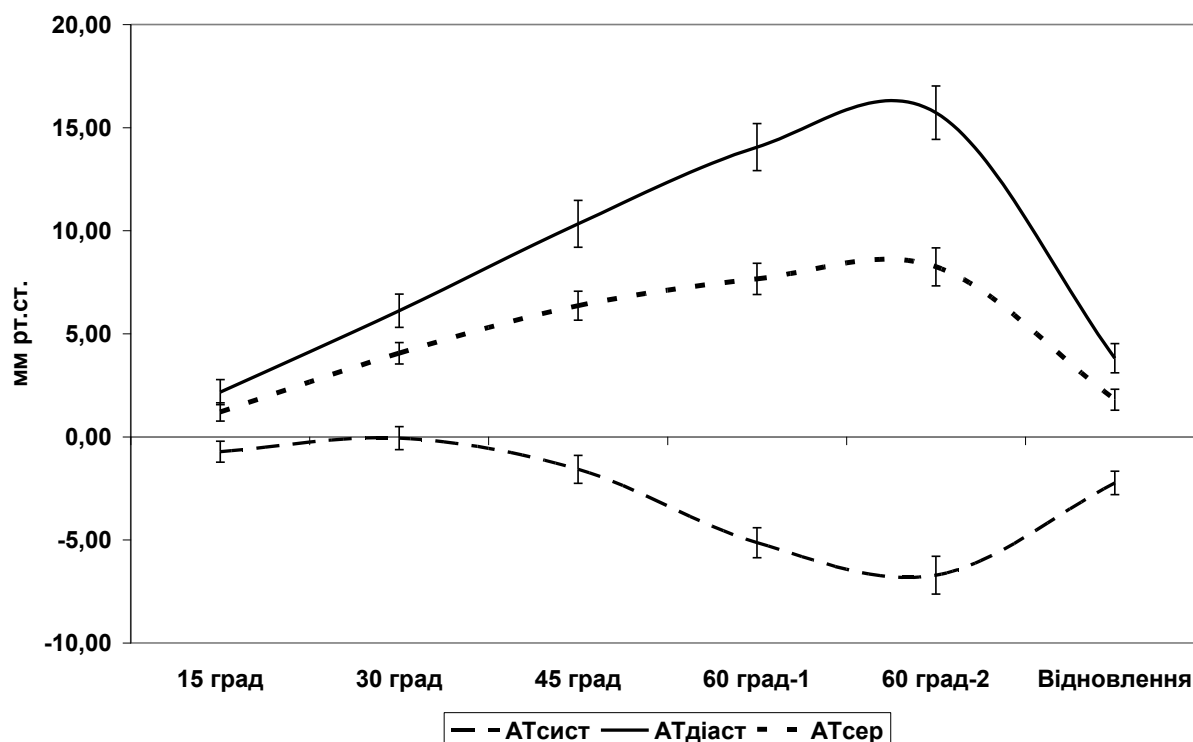


Рис. 1. Реактивність показників артеріального тиску (мм рт.ст.) за різних кутів пасивної ортостатичної проби у здорових молодих чоловіків (n=76)

Зміни тривалості t-RR були вірогідними починаючи з кута нахилу 30° та свого максимуму досягали на 20-й хвилини нахилу 60° (табл. 2). Це може бути свідченням активації симпатичної ланки автономної нервової системи для забезпечення високого тону периферійних судин потрібного для покращення венозного повернення до серця так і задіянням механізмів саморегуляції серцевої діяльності. Цікавим є збільшення t-RR від фонового рівня у період відновлення, що може бути свідченням посилення парасимпатичних впливів на серце.

**Таблиця 2**

Тривалість інтервалу RR та серцевий викид при градуальній пасивній ортопробі

Умови	t-RR, мс	УІ, мл/м <sup>2</sup>	СІ, л/м <sup>2</sup> ·хв <sup>-1</sup>
Спокій лежачи	0,934±0,019	38,21±2,25	2,43±0,13
15°	0,922±0,019	38,48±6,28	2,46±0,37
30°	0,854±0,016*	28,36± 1,61*	1,99± 0,11*
45°	0,763±0,013*	23,54±1,41*	1,87±0,11*
60°-1	0,701±0,014*	19,74±0,93*	1,70±0,07*
60°-2	0,686±0,016*	19,35±1,44*	1,67±0,11*
Відновлення	1,041±0,022*	39,93±2,61	2,27±0,13

\* - p<0,05 у порівнянні з показниками у спокої лежачи

Починаючи з навантаження у 30° відбувалось зниження як УІ так і СІ. Втім одразу після припинення тесту ці показники серцевого викиду відновлювались до фонового рівня.

Серед змін показників кардіодинаміки упродовж тесту потрібно відмітити динаміку тривалості фази напруження міокарду (табл. 3). Вже на першій градації навантаження Тнапр збільшувалась досягаючи максимуму реакції вже при нахилі 45°. ОШВ навпаки зменшувалась. Такі зміни підходять під визначення синдрому гіподинамії міокарду.

Таблиця 3

## Показники кардіодинаміки при градуальній пасивній ортопробі

Умови	$T_{\text{вигн}}, \text{сек}$	$T_{\text{напр}}, \text{сек}$	ОШВ, $\text{мл}\cdot\text{с}^{-1}$
Спокій лежачи	0,260±0,004	0,121±0,002	250,22±13,77
15°	0,246±0,006*	0,131± 0,003*	263,97±29,34
30°	0,222± 0,006*	0,145± 0,003*	226,33± 10,98*
45°	0,204± 0,003*	0,152± 0,003*	203,62± 10,51*
60°-1	0,192± 0,004*	0,153± 0,003*	183,23± 8,05*
60°-2	0,188± 0,009*	0,155± 0,004*	182,47± 10,69*
Відновлення	0,265±0,006	0,121±0,003	270,05±17,88

\* -  $p < 0,05$  у порівнянні з показниками у спокої лежачи

Аналіз змін кровонаповнення органів грудної клітки в нашому дослідженні показав, що вірогідними зрушення були тільки на останній ступені навантаження на 20-й її хвилині. У фоні цей показник складав  $29,31 \pm 1,08$  у.о., а при куті нахилу  $60^\circ$  -  $27,13 \pm 0,83$  у.о. ( $p < 0,05$ ). Це є свідченням про важливість підтримання його рівня для забезпечення роботи серця в подібних умовах.

Разом з цим аналіз індивідуальних особливостей реакцій КН на гравітаційне навантаження при нахилі  $60^\circ$  показав парадоксальне виражене зменшення цього показника у 2-х випадках, а в 17 менш виражене збільшення при відсутності змін у більшості вимірюваних. Це може свідчити про високу прогностичну значимість моніторингу КН при пасивному ортостазі

## Висновки

1. При пасивній градуальній ортопробі відбувалось суттєве підвищення діастолічного артеріального тиску до  $15,72 \pm 0,92$  мм рт.ст. при куті нахилу  $60^\circ$  та менш амплітудного зниження систолічного артеріального тиску ( $-6,71 \pm 1,30$  мм рт.ст.).

2. Пасивний ортостаз призводив до зниження тривалості інтервалу RR та показників серцевого викиду, які після повернення у горизонтальне положення відновлювались.

3. За аналізом змін фази напруження та об'ємної швидкості серцевого викиду при пасивному ортостазі постерігали прояв синдрому гіподинамії міокарду.

4. Наявні індивідуальні відмінності у реактивності показників центральної гемодинаміки на градуальну пасивну ортопробу.

**Перспективи подальших досліджень.** Вбачаються у з'ясуванні індивідуальних особливостей реактивності гемодинамічних показників на градуальну пасивну ортопробу.

## Список використаної літератури

- Cheshire W. J., Goldstein D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. Clin Auton Res.. № 29 (2). P. 215–230.
- Kenny R. A., Ingram A., Bayliss J., Sutton R. (1986) Head-up tilt: a useful test for investigating unexplained syncope. Lancet.. № 1 (8494). P. 1352–1355.
- Коваленко С.О., Калениченко О.В. (2006) .Центральна гемодинаміка та варіабельність серцевого ритму в осіб з різним рівнем фізичної працездатності // Матеріали XVII з'їзду Українського фізіологічного товариства. Фізіологічний журнал. Т.52, №2. С.92-93.
- Коваленко С. О. (2017) Характеристика та теоретичні основи методів аналізу варіабельності серцевого ритму. Український журнал медицини, біології та спорту. № 2. С. 223–233.
- Cheshire W. J., Goldstein D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. Clin Auton Res. № 29 (2). P. 215–230.
- Aponte-Becerra L., Novak P. (2021) Tilt Test: A Review. J Clin Neurophysiol. 2021. № 38 (4). P. 279–286.
- 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.

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.
9. Jelavić M., Babić Z., Hećimović H., Erceg V., Pintarić H. (2015) The role of tilt-table test in differential diagnosis of unexplained syncope. *Acta Clin Croat*. № 54 (4). P. 417–423.
10. Kubichek W.G., Patterson R.P., Wetsol D.A. (1970) Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* №2. P. 724-732.

### References

1. Cheshire W. J., Goldstein D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. *Clin Auton Res.* № 29 (2). P. 215–230.
2. Kenny R. A., Ingram A., Bayliss J., Sutton R. (1986) Head-up tilt: a useful test for investigating unexplained syncope. *Lancet*. № 1 (8494). P. 1352–1355.
3. Kovalenko SO, Kalenichenko O.V. (2006) . Tsentralna hemodynamika ta variabelnist sertsevoho rytmu v osib z ryznym rivnem fizychnoi pratszdatnosti // *Materialy XVII z'izdu Ukrainskoho fiziologichnoho tovarystva. Fiziologichnyi zhurnal*. T.52, №2. S.92-93.
4. Kovalenko SO (2017) Kharakterystyka ta teoretychni osnovy metodiv analizu variabelnosti sertsevoho rytmu. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. № 2. P. 223–233.
5. Cheshire W. J., Goldstein D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. *Clin Auton Res.* № 29 (2). P. 215–230.
6. Aponte-Becerra L., Novak P. (2021) Tilt Test: A Review. *J Clin Neurophysiol*. 2021. № 38 (4). P. 279–286.
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.
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.
9. Jelavić M., Babić Z., Hećimović H., Erceg V., Pintarić H. (2015) The role of tilt-table test in differential diagnosis of unexplained syncope. *Acta Clin Croat*. № 54 (4). P. 417–423.
10. Kubichek W.G., Patterson R.P., Wetsol D.A. (1970) Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* №2. P. 724-732.

### **R.A. Tsyhannyk, O.V. Kalenichenko, I.O. Fediai, S.O. Kovalenko Peculiarities of changes in central hemodynamics during graded tilt-test**

**Introduction.** *Determination of the functional state of the human body is one of the important problems of modern biology and medicine. The study of the level of functioning of the cardiovascular system and possible mechanisms of its adaptation to various loads plays an important role. Changes in environmental conditions, the influence of social factors can lead to shifts in the reaction rates of various body systems, which requires research on our contemporaries.*

**Purpose.** *To find out the peculiarities of the level and reactivity of blood pressure, cardiac output, cardiovascular dynamics and blood filling of the chest organs during the graded passive orthoprosthesis in healthy young men.*

**Methods.** *Measurements were performed on 76 men aged 18-25 years. Systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressure was measured using a Korotkoff tonometer (Reiker, Germany). Mean arterial pressure was calculated using the Hickham formula. To assess hemodynamic parameters, transthoracic tetrapolar impedance rheoplethysmography was used. The chest rheoplethysmogram was recorded on a HAI-medica standard rheograph (HAI-medica, Kharkiv, Ukraine). According to the signals of differentiated chest rheogram and electrocardiogram, the following central hemodynamic parameters were calculated in the program of this developer: duration of the RR interval, stroke and cardiac indexes, duration of the expulsion phase, myocardial tension phase, volume ejection velocity, and blood filling level of the chest organs.*

**Main results of the study.** *During the passive graded orthostasis test, there was a significant increase in diastolic blood pressure to  $15.72 \pm 0.92$  mm Hg at an inclination angle of  $60^\circ$  and a less amplitude decrease in systolic blood pressure ( $-6.71 \pm 1.30$  mm Hg). Passive orthostasis led to a decrease in the duration of the RR interval and cardiac output, which were restored after returning to a horizontal position. The analysis of changes in the phase of tension and cardiac output volume velocity during passive orthostasis revealed the manifestation of myocardial hypodynamia syndrome. There are individual differences in the reactivity of central hemodynamics to the graded passive orthotest.*

**Originality.** *For the first time we analyzed the changes in the main parameters of central hemodynamics in a modern contingent of healthy young men during the graded passive orthotest. The presence of individual differences in the reactivity of central hemodynamic parameters in healthy young men during the graded passive orthoprosthesis was shown.*

**Conclusions.** *Prospects for further research are seen in clarifying the individual characteristics of the reactivity of hemodynamic parameters to the graded passive orthotest.*

**Key words:** *central hemodynamics, graded orthotest, functional state*

Одержано редакцією: 16.11.2023

Прийнято до публікації: 14.12.2023