

**ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЦИГАННИК

Роман Анатолійович

УДК 612.13+612.172]:612.89-055.1-053.81

**ІНДИВІДУАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ТА РЕАКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ
ПРИ ПАСИВНІЙ ОРТОПРОБИ**

09 – Біологія

091 – Біологія

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів
мають покликання на джерело

Науковий керівник –

КОВАЛЕНКО

Станіслав Олександрович,

доктор біологічних наук, професор

Черкаси – 2024

АНОТАЦІЯ

Циганник Р. А. Індивідуальні особливості функціонування та реактивності серцево-судинної системи при пасивній ортопробі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 «Біологія». – Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Міністерство освіти України. Черкаси, 2024.

У дисертації запропоновано нове бачення щодо розв’язання актуальної наукової проблеми фізіології – з’ясування індивідуальних особливостей реактивності серцево-судинної системи здорових чоловіків на пасивну зміну положення тіла.

Проявом загальнобіологічної закономірності реактивності є здатність серцево-судинної системи людини змінювати параметри своєї діяльності, відповідно до змін умов зовнішнього середовища (Lattanzi et al., 2023; Gómez-Medina et al., 2023). Водночас для біологічних систем у цілому та гемодинаміки зокрема характерна мінливість, що, на думку М. Ковтуна (2018), являє собою кількісні варіації ознак чи параметрів структур, об’єктів, явищ у межах системи однієї якості або рівня організації. Дослідження змін гемодинаміки на стандартні навантаження в осіб різних типологічних особливостей вегетативної регуляції – актуальна проблема біології, що має практичне значення для створення оптимальних умов життєдіяльності людини.

Мета роботи – дослідити й обґрунтувати індивідуальні особливості змін центральної та периферійної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму при градуйованій пасивній ортопробі в здорових молодих чоловіків.

Для досягнення окресленої мети сформульовано такі **завдання**:

– з’ясувати зміни центральної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму та кровообігу нижніх кінцівок при градуальній пасивній ортопробі та в період відновлення після неї в здорових молодих чоловіків;

– дослідити показники центральної та периферійної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму їхньої реактивності на різних ступенях пасивної ортопроби в осіб із різним вихідним рівнем ваго-симпатичної рівноваги;

– проаналізувати особливості гемодинаміки в спортсменів і неспортсменів під час проведення градуальної пасивної ортопроби;

– вивчити вплив вихідного рівня кровонаповнення гомілок на зміни гемодинаміки та варіабельності серцевого ритму впродовж градуальної пасивної ортопроби в здорових молодих чоловіків.

Об'єкт дослідження – центральна та периферична гемодинаміка, варіабельність серцевого ритму в здорових молодих чоловіків.

Предмет дослідження – вплив градуальної пасивної ортопроби на особливості змін у серцево-судинній системі в чоловіків, залежно від індивідуальних особливостей вегетативного тону, кровонаповнення нижніх кінцівок і занять спортом.

Методи досліджень: електрокардіографія, артеріальна тонометрія, тетраполярна реографія грудної клітки й нижніх кінцівок, статистичні та спектральні методи варіабельності серцевого ритму, параметричні й непараметричні статистичні методи оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше продемонстровано парадоксальне збільшення тривалості інтервалу R-R, середньоквадратичного відхилення його масивів, потужності коливань у діапазоні 0,04-0,15 Гц після закінчення проби та переході у вихідне положення, що засвідчує суттєве збільшення активності парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

Уперше доведено, що під час пасивної ортопроби реактивність центральної гемодинаміки була найбільшою в парасимпатотоніків, порівняно з симпатотоніками. Водночас констатовано більше пригнічення високочастотних коливань серцевого ритму та зниження тону судин нижніх кінцівок.

Уперше зафіксовано більшу реактивність діастолічного артеріального тиску на пробу пасивного ортостазу в атлетів, які спеціалізуються у видах субмаксимальної потужності роботи, на відміну від неспортсменів. Активація симпатичної ланки автономної нервової системи в них також була вищою.

Уперше констатовано, що вихідний рівень кровонаповнення гомілок суттєво впливає не тільки на зміни кровообігу в них, а й на зміни центральної гемодинаміки за градуальної пасивної ортопроби.

Практичне значення результатів. Отримані значення параметрів гемодинаміки в здорових молодих чоловіків у стані спокою та на різних етапах градуальної пасивної ортопроби можуть бути рекомендовані для використання в практичній діяльності як нормативні величини. Урахування індивідуальних відмінностей людини, описаних у дисертації, сприятиме підвищенню діагностичної цінності методів оцінювання змін функціонального стану гемодинаміки під час градуальної пасивної проби, її використанню для корекції функціонального стану організму, а також розробленню нових методик фізичної реабілітації.

Особливості реагування серцево-судинної системи атлетів на пасивну градуальну ортопробу можуть бути корисними для оцінювання ступеня їхньої функціональної готовності. Виявлені закономірності регуляції серцево-судинної системи людини підлягають потенційному впровадженню в навчальні курси з фізіологічного та реабілітаційного спрямування.

Аналіз літературних джерел і проведені експериментальні вимірювання дали змогу констатувати, що реактивність здорових молодих чоловіків під час пасивної градуальної ортопроби залежить від вихідного рівня вегетативного тону, кровонаповнення гомілок та особливостей систематичних тренувальних навантажень.

У процесі пасивної ортопроби зафіксовано підвищення систолічного артеріального тиску, зниження серцевого викиду, збільшення фази напруження та індексу напруження міокарду, пригнічення коливань t-RR у

високочастотному діапазоні, що пропорційне до кута нахилу, збільшення тонуусу судин гомілки. Уперше виявлено парадоксальне збільшення т-RR, SDNN, потужності коливань т-RR у діапазоні 0,04-0,15 Гц після закінчення проби та під час переходу до вихідного положення.

Зміни показників центральної гемодинаміки за кута нахилу 60° пасивної ортопроби залежать від вихідного рівня вегетативного тонуусу й найбільші в парасимпатотоніків. Також у парасимпатотоніків відбувалося більше зниження коливань серцевого ритму, порівняно з симпато- й нормотоніками, переважно через хвилі діапазону 0,15-0,4 Гц. Для симпатотоніків характерне менше зниження тонуусу великих судин та артеріол, ніж у нормотоніків. У період відновлення після проби в них зафіксовано фазу зверхвідновлення – розширення судин.

У спортсменів, на відміну від неспортсменів, реактивність діастолічного тиску була вірогідно більшою (підвищення) на початку перебування в положенні 60°. Констатовано подальше збільшення через 20 хвилин, поряд із більшою амплітудою зростання потужності коливань т-RR у діапазоні 0,04-0,15 Гц. Кровообіг нижніх кінцівок у них вирізнявся більшим тонуусом великих судин і меншими об'ємними значеннями як у спокої, так і під час проби. За градацій проби 15, 30, 45 градусів та за відновлення реактивність кровонаповнення гомілок була меншою, ніж у неспортсменів.

У стані спокою виявлено більш високі рівні систолічного й середнього тиску в групі з високим кровонаповненням гомілок. У цих осіб реактивність систолічного тиску при ортопробі (зменшення) була вищою. Найбільш залежна від рівня кровонаповнення гомілок – реактивність показника тривалості фази напруження. У цьому положенні коефіцієнт кореляції між вихідним рівнем кровонаповнення гомілок і реактивністю фази напруження дорівнював -0,432 ($p < 0,01$). Рівень кровонаповнення гомілок мав переважно середній ступінь зв'язку з рівнями всіх периферійних гемодинамічних показників як у стані спокою, так і під час проби. Рівні й реактивність кровонаповнення гомілок були пов'язані з вихідним рівнем.

Урахування індивідуальних відмінностей реагування серцево-судинної системи людини, що викладені в дисертації, може підвищити діагностичну та прогностичну цінність градуальної пасивної ортопроби, а також актуалізувати перспективні напрями її використання в реабілітації.

Ключові слова: центральна та периферійна гемодинаміка, варіабельність серцевого ритму, вегетативний тонус, кровонаповнення нижніх кінцівок, атлети, адаптація, пасивна ортопроба.

ABSTRACT

Tsygannik R. A. Individual peculiarities of functioning and reactivity of the cardiovascular system during Tilt test. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 091 «Biology». Bohdan Khmelnytsky Cherkasy National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy, 2024.

This dissertation presents a novel solution to an urgent problem of physiology – individual characteristics of the cardiovascular system reactivity of healthy men to passive changes in body position.

A manifestation of the general biological regularity of reactivity is the ability of the human cardiovascular system to change the parameters of its activity in accordance with changes in environmental conditions (Lattanzi et al., 2023; Gómez-Medina et al., 2023). At the same time, biological systems in general and hemodynamics in particular are characterized by variability, which, according to M.F. Kovtun (2018), is defined as quantitative variations of signs or parameters of structures, objects, phenomena within a system of the same quality or level of organization. Therefore, the study of changes in hemodynamics to standard loads in individuals with different typological features of autonomic regulation is an urgent problem of biology and is of practical importance for creating optimal conditions for human life.

The aim of the study was to find out the individual characteristics of changes in central and peripheral hemodynamics, heart rate variability during graded passive orthotics in healthy young men.

To achieve the goal, the following tasks were set:

- to find out the changes in central hemodynamics, heart rate variability and blood circulation of the lower extremities during graded passive orthotics and during the recovery period after it in healthy young men;

- to investigate the indicators of central and peripheral hemodynamics, heart rate variability and their reactivity at different degrees of passive orthotics in individuals with different initial levels of vagosympathetic balance;

- to determine the hemodynamic features of athletes and non-athletes during the graded passive orthopedics test;

- to investigate the influence of the initial level of blood filling of the lower legs on changes in hemodynamics and heart rate variability during the graded passive orthotics test in healthy young men.

Object of research – central and peripheral hemodynamics, heart rate variability in healthy young men.

Subject of research – the effect of graded passive orthoprosthesis on the peculiarities of changes in the cardiovascular system in men, depending on individual characteristics of vegetative tone, blood filling of the lower extremities and sports.

Research methods: electrocardiography, arterial tonometry, tetrapolar rheography of the chest and lower extremities, statistical and spectral methods of heart rate variability, parametric and nonparametric statistical methods of processing research results.

The scientific novelty of the results obtained is that for the first time a paradoxical increase in the duration of the R-R interval, the standard deviation of its arrays, and the power of oscillations in the range of 0.04-0.15 Hz after the end of the test and the transition to the starting position was shown, indicating a

significant increase in the activity of the parasympathetic link of the autonomic nervous system.

For the first time, it was proved that during the passive orthotics test, the highest reactivity of central hemodynamics was in parasympathotonics compared to sympathotonics, along with greater suppression of high-frequency heart rate fluctuations and a decrease in the tone of the vessels of the lower extremities.

For the first time, a greater reactivity of diastolic blood pressure to the test of passive orthostasis was shown in athletes specializing in submaximal power work compared to non-athletes. The activation of the sympathetic link of the autonomic nervous system was also higher in them.

For the first time, it was shown that the initial level of blood filling in the lower legs significantly affects not only changes in blood circulation in them, but also changes in central hemodynamics during the graded passive orthotics test.

Practical significance of the results. The obtained values of hemodynamic parameters in healthy young men at rest and at different stages of the graded passive orthotest can be recommended for use in practice as normative values.

Taking into account the individual differences noted in the dissertation study will increase the diagnostic value of methods for assessing changes in the functional state of hemodynamics during the graded passive test, its use for correction of the functional state of the body, and will help in the development of new methods of physical rehabilitation.

The peculiarities of the response of the cardiovascular system of athletes to the passive graded orthotics test can be useful for assessing the degree of their functional readiness.

The found regularities of regulation of the human cardiovascular system can be implemented in training courses in physiology and rehabilitation.

The following conclusions were drawn from the results obtained:

The analysis of literature sources and experimental measurements made it possible to state that the reactivity of healthy young men during passive graded

orthotics depends on the initial level of autonomic tone, blood filling of the lower legs and the specifics of systematic training loads.

During the passive orthotics test, there was an increase in systolic blood pressure, a decrease in cardiac output, an increase in the stress phase and myocardial stress index, suppression of t-RR oscillations in the high-frequency range proportional to the angle of inclination, and an increase in the tone of the lower leg vessels. For the first time, a paradoxical increase in t-RR, SDNN, and t-RR oscillation power in the range of 0.04-0.15 Hz after the end of the test and the transition to the starting position was shown.

Changes in central hemodynamics at an inclination angle of 60° of the passive orthotomy test depend on the initial level of autonomic tone and are greatest in parasympathotonics. In addition, parasympathotonics had a greater decrease in heart rate fluctuations compared with sympathotonics and normotonics, mainly due to waves in the range of 0.15-0.4 Hz. In sympathotonics, there is a smaller decrease in the tone of large vessels and arterioles than in normotonics. During the recovery period after the test, they have a phase beyond recovery - vasodilation.

In athletes compared to non-athletes, the reactivity of diastolic pressure was significantly higher (increase) at the beginning of the 60° position and further increase after 20 minutes, along with a greater amplitude of increase in the power of t-RR oscillations in the range of 0.04-0.15 Hz. The blood circulation of the lower extremities was characterized by a greater tone of large vessels and lower volume values both at rest and during the test. At gradations of the test of 15, 30, 45 degrees and during recovery, the reactivity of blood filling of the lower legs was less than in non-athletes.

At rest, higher levels of systolic and mean arterial pressure were found in the group with high blood filling of the lower legs. The systolic pressure reactivity during the orthoprosthesis test (decrease) was higher in these individuals. The most dependent on the level of blood filling of the lower legs was the reactivity of the duration of the tension phase. In this position, the correlation coefficient between

the initial level of blood filling of the lower legs and the reactivity of the tension phase was -0.432 ($p < 0.01$). The level of blood filling of the lower legs had mainly an average degree of connection with the levels of all their peripheral hemodynamic parameters both at rest and during the test. Both the levels and reactivity of tibial blood filling were related to its initial level.

Taking into account the individual differences in the response of the human cardiovascular system noted in the dissertation study can increase the diagnostic and prognostic value of the graded passive orthotest, as well as identify promising areas for its use in rehabilitation.

Key words: central and peripheral hemodynamics, heart rate variability, autonomic tone, blood filling of the lower extremities, athletes, adaptation, passive orthoprobe, tilt test.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, де викладено основні наукові результати дисертації

1. Циганник Р. А., Каленіченко О. В., Федяй І. О., Коваленко С. О. Особливості змін центральної гемодинаміки при градуальній пасивній ортопробі. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2023. № 2. С. 102–108. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-102-108>. (Здобувач виконав експериментальні дослідження, провів узагальнення й аналіз отриманих результатів, підготував статтю до друку.) (Стаття у фаховому виданні України).
2. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Зміни центральної гемодинаміки у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2024. № 1. С. 150–156. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-150-156>. (Здобувач виконав експериментальні дослідження, провів узагальнення й аналіз отриманих результатів, підготував статтю до друку.) (Стаття у фаховому виданні України).
3. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Вплив градуйованої пасивної ортопроби на гемодинаміку здорових чоловіків з різним рівнем вегетативного тонуусу. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 8. С. 75–82. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.8.2024.8>. (Здобувач виконав експериментальні дослідження, провів статистичний аналіз даних, узагальнення й аналіз отриманих результатів, підготував статтю до друку.) (Стаття у фаховому виданні України).
4. Kovalenko S., Tsyhannyk R. Influence of the initial level of autonomic tone on the blood circulation of the lower extremities during tilt test. *Věda a perspektivy (Série «Biologie»)*. 2024. № 8 (39). – P. 255–261. [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-8\(39\)-255-261](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-8(39)-255-261). (Здобувач провів експериментальні дослідження, виконав статистичний аналіз даних,

узагальнення й аналіз отриманих результатів, підготував статтю до друку.) (Стаття в міжнародному виданні країни Євросоюзу).

5. Коваленко С. О., Циганник Р. А. Варіабельність серцевого ритму при градуїзованій пасивній ортопробі у чоловіків. *Наукові записки. Біологічні науки* (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя). 2024. № 1–2. С. 87–94. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-1-2-86-93>. (Здобувач провів експериментальні дослідження, виконав статистичний аналіз даних, узагальнення й аналіз отриманих результатів, підготував статтю до друку.) (Стаття у фаховому виданні України).

Публікації, що засвідчують апробацію дисертації

1. Коваленко С. О., Циганник Р. А. Аритмії, шумові явища, наявність тренду та хвильова структура серцевого ритму. *Актуальні проблеми фізіології та реабілітації: матеріали Міжнародної наук. інтернет-конф. (Черкаси, 30 листопада 2021 р.)* / Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького. Черкаси, 2021. С. 125–128.

2. Циганник Р. А. Зміни артеріального тиску при пасивній градуальній ортопробі. *Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених «Родзинка – 2023»* / XXV Всеукраїнська наукова конференція молодих учених. Черкаси: ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2023. С. 896–897.

3. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Вплив пасивної градуальної ортопроби на артеріальний тиск у спортсменів. *Адаптаційні психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту: матеріали Міжнародної наук.-практичної конф. (Київ – Черкаси, 7 – 8 грудня 2023 р.)* / Національний університет фізичного виховання і спорту України. Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького. Черкаси, 2023. С. 128.

4. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Зміни артеріального тиску у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі. *Актуальні проблеми фізичної культури, спорту і здоров'я: матеріали Міжнародної наук. інтернет-*

конф. (Черкаси, 30 – 31 травня 2024 р.) / Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького. Черкаси, 2024. С. 48–50.

5. Коваленко С. О., Циганник Р. А., Дзюник І. С. Кровообіг нижніх кінцівок у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі. *Адаптаційні можливості дітей та молоді*: збірник наукових праць XV Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 105-річчю з дня заснування кафедри фізичної реабілітації, біології і охорони здоров'я та 60-річчю створення лабораторії функціональної діагностики імені професора Т. М. Цонєвої Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Одеса, 19 – 20 вересня 2024 року, Ч. 2) / голов. ред. А. І. Босенко. Одеса: Університет Ушинського, 2024. С. 169–176.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	16
ВСТУП	18
РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	23
1.1. Сучасні тренди в дослідженнях кровообігу людини	23
1.2. Гемодинаміка при змінах положення тіла	29
1.3. Особливості адаптації організму атлетів до різних навантажень	36
РОЗДІЛ II. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
2.1. Загальні умови та організація проведення досліджень	44
2.2. Вимірювання та розрахунки показників центральної і периферичної гемодинаміки	46
2.3. Вимірювання показників варіабельності серцевого ритму	51
2.4. Статистичний аналіз даних	53
РОЗДІЛ III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	55
3.1. Індивідуальні особливості центральної гемодинаміки при пасивному ортостазі	55
3.1.1. Особливості змін центральної гемодинаміки при градуальній пасивній ортопробі	55
3.1.2. Вплив градуйованої пасивної ортопроби на гемодинаміку здорових чоловіків із різним рівнем вегетативного тонусу	59
3.1.3. Зміни центральної гемодинаміки в спортсменів при градуальній пасивній ортопробі	65
3.2. Індивідуальні особливості рівня та змін варіабельності серцевого ритму при градуйованій пасивній ортопробі	71
3.2.1. Зміни часових показників варіабельності серцевого тиску при тілт- тесті	71
3.2.2. Динаміка хвильової структури серцевого ритму впродовж пасивної градуальної ортопроби	76

3.2.3. Особливості рівня та змін показників спектрального аналізу ВСР при пасивній ортопробі в осіб із різним вихідним рівнем вегетативного тонусу	80
3.2.4. Особливості хвильової структури ВСР під час проведення градуальної пасивної ортопроби в спортсменів	84
3.3. Індивідуальні особливості змін кровообігу нижніх кінцівок при градуальній пасивній ортопробі.....	87
3.3.1. Вплив вихідного рівня вегетативної рівноваги на рівні та реактивність показників тонусу гомілок при тілт-тесті	87
3.3.2. Кровообіг нижніх кінцівок у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі.....	91
3.3.3. Особливості змін тонусу нижніх кінцівок при тілт-тесті в осіб із різним рівнем їх базового кровонаповнення.....	95
3.3.4. Особливості змін центральної гемодинаміки при тілт-тесті в осіб із різним рівнем базового кровонаповнення гомілок.....	101
Обговорення результатів досліджень	103
ВИСНОВКИ	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	111

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

aLF – спектральна щільність найбільшого за амплітудою піку на спектрограмі в діапазоні низьких частот.

HF – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні високих частот (0,15-0,4 Гц).

HF_{norm} – нормалізована потужність спектру в діапазоні 0,15-0,4 Гц.

LF – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні низьких частот (0,04-0,15 Гц).

rMSSD – стандартне відхилення різниці послідовних R-R інтервалів.

SDNN – стандартне відхилення інтервалів R-R.

tLF – частота найбільшого за амплітудою піку на спектрограмі в діапазоні низьких частот.

t-R-R – тривалість серцевого циклу.

VLF – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні дуже низьких частот (0-0,04 Гц).

V_{max} – максимальна швидкість кровонаповнення.

V_{сер} – середня швидкість кровонаповнення.

АСХ – амплітуда систолічної хвилі реограми.

АТ_{діаст} – діастолічний артеріальний тиск.

АТ_{сист} – систолічний артеріальний тиск.

АЧП – амплітудно-частотний показник.

ІН – індекс напруження.

ІНМ – індекс напруження міокарду.

КН – рівень кровонаповнення грудної клітки.

ОШВ – об'ємна швидкість викиду.

СІ – серцевий індекс.

Т_{вигн} – період вигнання.

Т_{напр} – період напруження.

TP – загальна потужність коливань R-R інтервалів.

UI – ударний індекс.

УОК – ударний або систолічний об'єм крові.

ХОК – хвилинний об'єм крові.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Реактивність у біологічних системах стосується здатності живих організмів, клітин або біомолекул взаємодіяти з іншими речовинами чи з подразниками [83]. Проявом загальнобіологічної закономірності реактивності є здатність серцево-судинної системи людини змінювати параметри своєї діяльності, відповідно до змін умов зовнішнього середовища [68, 113]. Для біологічних систем у цілому й гемодинаміки зокрема характерна мінливість, що, на думку М. Ковтуна [17], являє собою кількісні варіації ознак чи параметрів структур, об'єктів, явищ у межах системи однієї якості або рівня організації. Дослідження змін гемодинаміки на стандартні навантаження в осіб різних типологічних особливостей вегетативної регуляції є актуальною проблемою біології та має практичне значення для створення оптимальних умов життєдіяльності людини.

У науці запропоновано численну кількість досліджень, присвячених впливу активної ортопроби на гемодинаміку та хвильові її прояви активної ортопроби, що виконані у вимірюваннях на різних контингентах здорових осіб [1, 5, 169]. Представлено також і публікації, у яких зосереджено увагу на впливі тілт-тесту (пасивної зміни положення тіла догори головою) на гемодинаміку в осіб із вегетативними порушеннями [32, 47, 86, 160, 176].

З'ясовано, що діяльність серцево-судинної системи людини залежить від таких індивідуальних характеристик, як функціональна рухливість нервової системи [21, 169], вихідний рівень тонузу автономної нервової системи [30], адаптивні можливості організму [46]. Попри це, індивідуальні особливості стану й реактивності серцево-судинної системи при градуальній пасивній ортопробі не поставали предметом систематичних розвідок, що зумовлює необхідність спеціального дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертацію підготовлено відповідно до плану науково-дослідницької роботи Черкаського

національного університету імені Богдана Хмельницького, а також у межах теми «Індивідуальні особливості змін центральної та периферійної гемодинаміки при різних впливах» (№ держреєстрації 0122U201052). Тему роботи затверджено на засіданні Вченої ради Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол № 3 від 22.12.2020).

Мета дослідження – дослідити й обґрунтувати індивідуальні особливості змін центральної та периферійної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму при градуйованій пасивній ортопробі в здорових молодих чоловіків.

Досягнення мети передбачає розв’язання низки **завдань**:

- з’ясувати зміни центральної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму та кровообігу нижніх кінцівок при градуальній пасивній ортопробі та в період відновлення після неї в здорових молодих чоловіків;
- дослідити показники центральної та периферійної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму їхньої реактивності на різних ступенях пасивної ортопроби в осіб із різним вихідним рівнем ваго-симпатичної рівноваги;
- проаналізувати особливості гемодинаміки в спортсменів і неспортсменів під час проведення градуальної пасивної ортопроби;
- вивчити вплив вихідного рівня кровонаповнення гомілок на зміни гемодинаміки та варіабельності серцевого ритму впродовж градуальної пасивної ортопроби в здорових молодих чоловіків.

Об’єкт дослідження – центральна та периферична гемодинаміка, варіабельність серцевого ритму в здорових молодих чоловіків.

Предмет дослідження – вплив градуальної пасивної ортопроби на особливості змін у серцево-судинній системі в чоловіків, залежно від індивідуальних особливостей вегетативного тонуусу, кровонаповнення нижніх кінцівок і занять спортом.

Методи досліджень: електрокардіографія, артеріальна тонометрія, тетраполярна реографія грудної клітки й нижніх кінцівок, статистичні та

спектральні методи варіабельності серцевого ритму, параметричні й непараметричні статистичні методи оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше продемонстровано парадоксальне збільшення тривалості інтервалу R-R, середньоквадратичного відхилення його масивів, потужності коливань у діапазоні 0,04-0,15 Гц після закінчення проби та переході у вихідне положення, що засвідчує суттєве збільшення активності парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

Уперше доведено, що під час пасивної ортопроби реактивність центральної гемодинаміки була найбільшою в парасимпатотоніків, порівняно з симпатотоніками. Водночас констатовано більше пригнічення високочастотних коливань серцевого ритму та зниження тону судин нижніх кінцівок.

Уперше зафіксовано більшу реактивність діастолічного артеріального тиску на пробу пасивного ортостазу в атлетів, які спеціалізуються у видах субмаксимальної потужності роботи, на відміну від неспортсменів. Активація симпатичної ланки автономної нервової системи в них також була вищою.

Уперше констатовано, що вихідний рівень кровонаповнення гомілок суттєво впливає не тільки на зміни кровообігу в них, а й на зміни центральної гемодинаміки за градуальної пасивної ортопроби.

Практичне значення роботи. Отримані значення параметрів гемодинаміки в здорових молодих чоловіків у стані спокою та на різних етапах градуальної пасивної ортопроби можуть бути рекомендовані для використання в практичній діяльності як нормативні величини. Урахування індивідуальних відмінностей людини, описаних у дисертації, сприятиме підвищенню діагностичної цінності методів оцінювання змін функціонального стану гемодинаміки під час градуальної пасивної проби, її використанню для корекції функціонального стану організму, а також розробленню нових методик фізичної реабілітації.

Особливості реагування серцево-судинної системи атлетів на пасивну градуальну ортопробу можуть бути корисними для оцінювання ступеня їхньої функціональної готовності. Виявлені закономірності регуляції серцево-судинної системи людини підлягають потенційному впровадженню в навчальні курси з фізіологічного та реабілітаційного спрямування.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертації представлено й успішно обговорено під час міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій: Міжнародна наукова інтернет-конференція «Актуальні проблеми фізіології та реабілітації» (30 листопада 2021 р., м. Черкаси); XXV Всеукраїнська наукова конференція молодих учених «Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених «Родзинка – 2023»»; Міжнародна науково-практична конференція «Адаптаційні психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту» (Київ – Черкаси, 7 – 8 грудня 2023 р.); Міжнародна наукова інтернет-конференція «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту і здоров'я» (Черкаси, 30 – 31 травня 2024 р.); Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 105-річчю з дня заснування кафедри фізичної реабілітації, біології і охорони здоров'я та 60-річчю створення лабораторії функціональної діагностики імені професора Т. М. Цонєвої Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» «Адаптаційні можливості дітей та молоді» (Одеса, 19 – 20 вересня 2024 року).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 10 наукових праць: 5 – у вигляді статей, серед яких 4 – фахові зі спеціальності 091 «Біологія», 1 – у журналі країни Євросоюзу; 5 – у вигляді тез доповідей.

Структура роботи. Дисертація містить вступ, огляд літератури, опис матеріалів і методів досліджень, результати досліджень та їх обговорення, висновки та список використаних джерел з 184 найменувань (138 – останніх 5 років видання; 30 кирилицею та 154 латиницею). Робота викладена на 136

сторінках (основна частина на 110 сторінках), ілюстрована 25 рисунками й 21 таблицею.

РОЗДІЛ I

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1. Сучасні тренди в дослідженнях кровообігу людини

Стан системи кровообігу людини є провідним фактором її здоров'я, чинником якості життя. Цій проблемі присвячено низку галузевих досліджень і публікацій. На підставі аналізу бази даних Scopus за ключовими словами «circulation human» зафіксовано стан вивчення задекларованого питання (рис. 1).

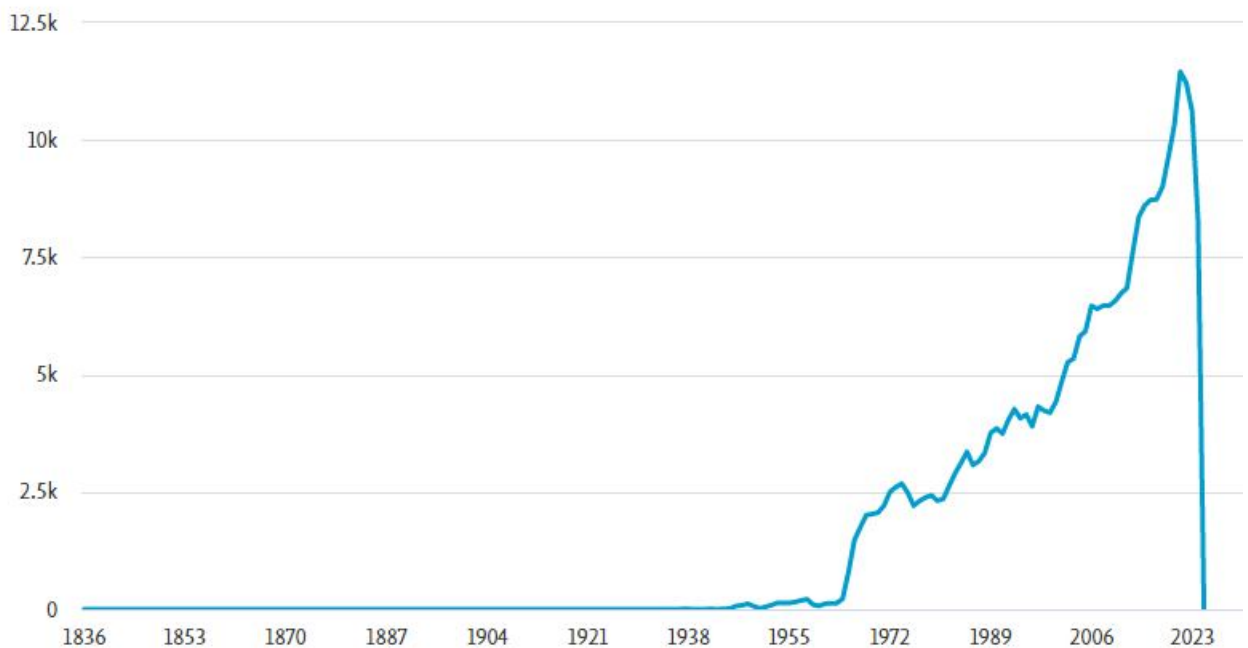


Рис. 1. Кількість публікацій у БД Scopus за ключовими словами «circulation human»

Починаючи з 60-х років XX століття кількість досліджень кровообігу людини стрімко зростала, досягнувши максимуму в останні роки. Посутню увагу звернено на сучасні розрахункові методи оцінювання стану серцево-судинної системи. Експоненціальне зростання кількості даних про пацієнтів дає змогу покращити інфраструктуру охорони здоров'я. Традиційно використовували точні аналітичні рішення для оберненого аналізу в лінійних

задачах, однак ці методи не працюють або є неефективними для нелінійних систем, таких як потік крові в серцево-судинній системі (системний кровообіг), що вирізняється високим ступенем нелінійності. За допомогою комірок довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) обернено розраховують криві артеріального тиску в різних судинах тіла через уведення кривих тиску з трьох неінвазивних кровоносних судин (сонної, стегнової та плечової артерій) [44].

Інтегрована за допомогою машинного навчання нуль-одновимірна багатомасштабна гемодинамічна модель доводить, що під час стабільного спонтанного дихання тиск у церебральних артеріях може бути збільшений у кінцевих точках вдиху. Констатовано, що розумне регулювання дихальних патернів, тобто глибоке дихання, сприяє мозковому кровообігу [115].

Вазомоцію в артеріолах вивчали на математичній моделі, теоретично обґрунтовуючи її та аналізуючи ефект, коли розглядають мережу судин, розташованих нижче за течією від артеріол. Доведено, що наявність збідненого на клітини шару поблизу стінок судин пом'якшує несприятливий вплив, спричинений зменшенням просвіту [56].

Застосування аналітичних інструментів, заснованих на теорії систем і математичному моделюванні, може бути дуже корисним у майбутніх дослідженнях впливу дихальних рухів на флуктуації периферійного кровообігу [96]. Представлено модель перфузії лівого шлуночка, що базована на анатомічно реалістичній структурі коронарного дерева, яка передбачає його взаємодію з системним кровообігом. Швидкість розслаблення лівого шлуночка має вагомий вплив на регіональний розподіл коронарного потоку й роботу міокарда [128].

Розроблено судинну модель, що базована на законі Пуазейля, із корекцією тиску на еластичність та оцінювання перепаду тиску на з'єднаннях судин. Пористий капілярний шар моделюють як двокомпонентну ділянку (артеріальну й венозну) з використанням закону Дарсі. Обмін рідиною між

артеріальним і венозним відділами капілярного русла трактують як перфузію крові [139].

Серед сучасних досліджень вагому частку становлять праці, присвячені вивченню церебрального кровообігу [40, 126, 135, 178]. Функція мозку критично залежить від тісної відповідності між метаболічними потребами, належним постачанням кисню і поживних речовин, виведенням клітинних відходів. Таке узгодження вимагає безперервної регуляції мозкового кровотоку, яку можна розділити на чотири великі групи:

1) авторегуляція, яка описує реакцію судин головного мозку на зміни перфузійного тиску;

2) судинна реактивність на вазоактивні стимули (зокрема вуглекислий газ (CO_2));

3) нейросудинний зв'язок, тобто реакція мозкового кровотоку на локальні зміни нейронної активності (часто стандартизовані когнітивні стимули в людей);

4) ендотелій-залежні реакції [50].

Церебральна судинна система відповідає за захист мозку від зовнішніх загроз, що переносить кров. Ендотеліальні клітини відіграють центральну роль у цьому процесі, оскільки вони формують основу гематоенцефалічного бар'єра. Ендотелій також регулює фібриноліз, тромбоутворення, активацію тромбоцитів, судинну проникність, метаболізм, катаболізм, запалення і рух білих клітин. Ендотеліальні клітини регулюють зміни структури судин, спричинені ангиогенезом та ремоделюванням артерій. Крім того, ендотелій сприяє судинному тону, забезпечуючи належну перфузію мозку, що володіє високими енергетичними потребами й не має запасів енергії [111].

Церебральна мікроциркуляція зазнає динамічних змін паралельно з розвитком нейронів, глії та їхнього енергетичного метаболізму під час вагітності й у постнатальному періоді. Мозковий кровотік, споживання кисню та глюкози становлять лише 20 % від рівня дорослих у недоношених дітей, але з часом перевищують дорослі показники у віці від 3 до 11 років, що

збігається з періодом тривалого росту мозку, формуванням синапсів і мієлінізації. Нервово-судинний зв'язок із сенсорною активацією наявний, але ослаблений під час народження. До двох постнатальних місяців збільшення мозкового кровотоку часто непропорційно менше, ніж збільшення споживання кисню, на відміну від відносної гіперемії, що простежуване в дорослих. Міогенний тонус гладких м'язів судин зростає паралельно з підвищенням артеріального тиску [98].

Компенсаторні хемо- й ауторегуляторні реакції на всіх етапах мозкового кровообігу, а також взаємодія з парасимпатичною нервовою активністю є унікальними особливостями мозкового кровообігу. Цей перехресний вплив симпатичних і парасимпатичних рефлексів забезпечує адекватну перфузію головного мозку оптимізуючи доставлення кисню і поживних речовин до мозку, підтримуючи об'єм крові та внутрішньочерепний тиск [99].

Цереброваскулярна реактивність відображає зміну мозкового кровотоку як відповідь на судинорозширювальні стимули, що дає змогу оцінити стан судин головного мозку. Нещодавні досягнення з кількісного доставлення стимулів CO_2 з комп'ютерним контролем послідовного подання газу дали змогу картувати швидкість і величину реакції на стимули кровотоку. Ці досягнення в застосуванні до пацієнтів із гострим струсом мозку несподівано продемонстрували більшу швидкість і величину відповідей, які не були зафіксовані під час інших захворювань, що зазвичай мають протилежні ефекти [178].

Упродовж останніх п'яти років учені зосереджують увагу на проблемах функціонування та регуляції кровообігу в нижніх кінцівках під час патології [52, 91, 179, 183] і в нормальних умовах функціонування [66, 127, 170]. Унаслідок дослідження на здорових людях, зафіксовано, що NO -опосередкована вазодилатація, зумовлена фізичними вправами, суттєво й пропорційно послаблюється під впливом підвищення активності симпатичної нервової системи, спричиненої ними. Цей результат засвідчує домінантну

роль симпатичних впливів у регуляції судинної провідності скелетних м'язів [170].

Гравітаційна констрикція і розширення судин нижніх кінцівок під час пасивного піднімання ніг були пов'язані з контррегуляторною вегетативною відповіддю. На реакцію судин нижніх кінцівок впливає ВНС. Аналіз ВСР повинен бути включений в оцінювання тесту на пасивне піднімання ніг [157].

Церебральна ауторегуляція була суттєво порушена, це тривало до 10 хвилин після закінчення маневру пасивного піднімання ніг. Не рекомендовано використовувати такий тест навіть тоді, коли внутрішньочерепний тиск стабільний [123].

Пасивне скорочення м'язів нижніх кінцівок за допомогою електроміостимуляції збільшує кровотік, засвідчуючи, що використання електроміостимуляції за тривалого положення сидячи може знизити ризик дисфункції судинного ендотелію ніг [82]. Пасивні рухи ніг позитивно впливають на кровообіг у чоловіків [71]. Кровотік у нижніх кінцівках також підвищує їхню зовнішня пневмокомпресія [36, 140, 175], вібрація всього тіла [118]. Періодичне стискання гомілок під час спокійного стояння після активного ортостатичного навантаження покращує місцеву, центральну й мозкову гемодинаміку, забезпечуючи потенціал терапевтичного інструменту для осіб, вразливих до ортостатичного стресу [65].

Індекси функції артерій опору верхніх і нижніх кінцівок позитивно пов'язані в молодих жінок під час оцінювання реактивної гіперемії після зняття оклюзійної манжети з плечової артерії та реакції кровотоку в ногах на пасивні рухи ногою. Незважаючи на попередні дані, що демонструють позитивний зв'язок між функцією магістральної артерії верхньої кінцівки й функцією резистивної артерії нижньої кінцівки, ці показники не пов'язані між собою в молодих жінок [54].

У дослідженнях зафіксовано статеві відмінності у функціонуванні магістральних артерій, проте бракує відомостей про можливі статеві відмінності у функціонуванні мікросудин. Більш швидкі реакції мікросудин

після оклюзії в усіх м'язах гомілки в жінок – новий доказ статевих відмінностей у функціонуванні мікросудин у молодих людей, що увідповіднені з віком, індексом маси тіла, рівнем фізичної активності [125].

Захворювання периферичних артерій пов'язані зі зниженням кровотоку в нижніх кінцівках і перфузії тканин. Подальше зниження напруги зсуву стінки судин, а також ішемічно-реперфузійне ушкодження зумовлені системною ендотеліальною дисфункцією і запаленням. Наявні відомості дають підстави стверджувати, що реваскуляризація позитивно впливає на кровотік, перфузію, системну ендотеліальну дисфункцію. Будь-які зміни можуть стати очевидними через кілька тижнів [133].

Численні дослідження периферійного кровообігу проведено й в інших ділянках судинного русла [78, 159, 180]. Науковці активно вивчають варіабельність серцевого ритму як феномен, що відображає особливості регуляції не тільки серця, але й усєї серцево-судинної системи [42, 61, 166].

Згідно з метааналізом наукової літератури, низькочастотне дихання суттєво збільшує ВСР. Це можна рекомендувати як низькотехнологічну й недорогу методику для використання з метою профілактики та додаткового лікування, із невеликою кількістю очікуваних побічних ефектів [110]. Особливо корисним для серцево-судинної системи є дихання на резонансній частоті 0,1 Гц [149].

Серце й мозок мають двосторонній вплив одне на одного, що виявляється у вегетативній регуляції і гемодинамічних зв'язках. Варті уваги суттєві зв'язки між діяльністю нервової системи та варіабельністю серцевого ритму [33]. Автори наукових праць популяризували використання варіабельності серцевого ритму (ВСР) протягом останніх десятиліть, наголошуючи на простоті й доступності збирання даних ВСР, а також на клінічній значущості, взаємозв'язкам із психофізіологічними конструктами та психопатологічними розладами [137, 182].

У науковій літературі розглянуто нові можливості використання аналізу варіабельності серцевого ритму в інтенсивній терапії та станах, у

яких варіабельність серцевого ритму слугує потенційним фізіологічним маркером захворювання [89]. Математичні й обчислювальні методи дають змогу маніпулювати сигналом ЕКГ для вилучення інформації, використовувати їх у прогностичних моделях для індивідуальної стратифікації серцевого ризику. Водночас варто визнати складність їх пояснення, тому висновки про активність ВНС на основі цих моделей потребують обережності [69].

Отже, протягом останніх п'яти років зафіксовано інтенсифіковане застосування функціональних методів дослідження серцево-судинної системи людини, що доводить розвиток передового наукового напрямку, зокрема фізіології кровообігу.

1.2. Гемодинаміка при змінах положення тіла

Одним із найбільш застосовуваних методів у дослідженнях системи кровообігу людини є зміна положення тіла, що проходить як активно, так і пасивно [51, 107]. Зміни положення тіла на кровообіг людини студіюють уже протягом багатьох століть [47].

У 1740 році Ф. Гофман описав кілька випадків падіння під час стояння, які, на його думку, були спричинені застоєм гуморальних рухів [77]. Першим дослідником, який використав дошку з нахилом для вивчення гемодинамічних змін у людини, став Е. Гельмрайх. У 1923 році дослідник виміряв частоту серцевих скорочень здорових дітей, яких розміщували на широкій дошці, закріпленій у ділянці плечей, таза, стоп, і нахиляли поступово на 20° , 40° , 60° і 90° [74]. У 1930 році Е. Тернер, І. Ньютон, Ф. Хейнс використовували м'яку нахильну дошку з регульованими опорами для голови, ніг і плечей, щоб вивчити реакцію частоти серцевих скорочень та артеріального тиску в молодих жінок, які нахилялися на 60° або 90° протягом

15 хвилин. Учені виявили, що ЧСС збільшувалася зі зменшенням пульсового тиску, реакція була менш помітною, якщо суб'єктам надавали підтримку черевного тиску [168]. У 1986 році Р. Кенні та його колеги представили методику пасивного нахилу голови вгору для дослідження незрозумілих синкопе, відтоді її широко використовують у клінічній практиці [94].

Тілт-тест – це проба з нахилом голови догори, що зазвичай використовують для оцінювання ортостатичних синдромів і дизавтономії. Тест нахилу оцінює реакцію вегетативної системи на ортостатичний стрес. Традиційна проба з нахилом передбачає моніторинг частоти серцевих скорочень й артеріального тиску. Найпоширенішими синдромами, які можна виявити за допомогою проби з нахилом, є нейроопосередкована непритомність (вазодепресорна, кардіовагальна або змішана), ортостатична гіпотензія, синдром постуральної ортостатичної тахікардії, гіпокапнічна церебральна гіперперфузія, синдром ортостатичної церебральної гіперперфузії [32].

Зміна положення тіла може призводити до ортостатичної гіпотензії. Ортостатична гіпотензія – зниження артеріального тиску на 20 мм рт. ст. і більше систолічного або на 10 мм рт. ст. і більше діастолічного протягом трьох хвилин після вставання з положення лежачи на спині або після прийняття положення з підняттям голови, принаймні на 60 градусів під час тестування на нахиленому столі. Симптоми зумовлені недостатньою фізіологічною компенсацією та гіперперфузією органів, виявляються через головний біль, запаморочення, біль у плечах та шиї (синдром «вішалки»), порушення зору, ускладнене дихання, біль у грудях. Поширеність ортостатичної гіпотензії в суспільстві становить 20 % серед людей старшого віку та 5 % серед людей середнього віку. Ортостатичну гіпотензію класифікують як нейрогенну або ненеурогенну, залежно від етіології та реакції серцевого ритму [97].

Пацієнти з синкопе не мають підвищеного симпатичного тону на початковому рівні або під час проби, за винятком безпосередньо перед

синкопе, коли простежуваний транзиторний сплеск симпатичної активності, за яким настає симпатична абстиненція разом із парасимпатичним сплеском [108]. Тест може провокувати екстремальну зміну активності вегетативної нервової системи [119].

Пробу з положенням сидючи використовують для оцінювання ортостатичної гіпотензії без використання нахилоного столу в осіб, які не можуть стояти. Основна мета цього дослідження – з'ясувати відмінності в артеріальному тиску й гемодинамічних реакціях між пробами з нахилом сидючи та з нахилом голови вгору. Вторинна мета полягала у вивченні гемодинамічних реакцій, пов'язаних зі змінами артеріального тиску під час кожного тесту. Величини змін систолічного артеріального тиску, частоти серцевих скорочень, ударного об'єму відрізнялися між тестами, проте гемодинамічна змінна, пов'язана зі змінами артеріального тиску, була однаковою для обох тестів. Ці результати можуть сприяти клінічному застосуванню проби з навантаженням сидючи для виявлення наявності та гемодинамічних механізмів ортостатичної гіпотензії [136].

У праці [64] проаналізовано можливості використання тілт-тесту для людей похилого віку. Вік суттєво впливає на гемодинамічний патерн відповіді на ці проби, починаючи з 50-річного віку. У молодих пацієнтів домінує вагусна гіперактивність, у старших пацієнтів простежувана тенденція до вазодепресії [97]. Таку пробу використовують і в педіатричній практиці [95]. Здорові новонароджені демонструють цілу низку нормальних негайних церебральних гемодинамічних реакцій на нахил голови догори на 90°, що були розподілені на п'ять груп за допомогою кластерного аналізу [84]. Ехокардіографічне дослідження виявило зниження ударного об'єму та венозного повернення в разі синдрому поступальної тахікардії в 13-річних школярів і 50-річних чоловіків. Зміни максимального об'ємного кровотоку як відповідь на постуральні зміни можуть засвідчувати основну патофізіологію цього стану [87].

Досліджено особливості церебральної гемодинаміки при пасивній ортопробі в пацієнтів із різними діагнозами [39, 142, 153]. Доведено вплив рівня CO₂ у кінці видиху на особливості реакції церебрального кровообігу під час тілт-тесту [39].

Дисфункція барорефлексу – одна з поширених причин, що пов'язані з серцево-судинною системою. Буферна здатність і посилення барорефлексу впливають на коливання артеріального тиску за короткочасного контролю. Для регуляції артеріального тиску представлено інтегровану аналітичну модель барорефлекторного контролю разом із серцево-судинною системою, що вможливує вивчення складних взаємодій між вегетативною нервовою системою та серцево-судинною системою. У запропонованій моделі вегетативна нервова система використовує симпатичну й парасимпатичну нервову активність, містить серце, змодельоване за підходом Мюльє, системну судинну систему, барорецепторний датчик, що використовує модель Фойгта, засновану на стресі й деформації, автономний нервовий контроль (Ходжкіні-Хакслі). Ця модель може врахувати розподіл змін загального об'єму крові під впливом сили тяжіння під час постуральних змін за допомогою короткочасного барорефлекторного контролю. Моделювання проведено для інтегрованої моделі разом із неппульсаційною та пульсаційною моделями серця. Запропонована модель валідизована для переходу з положення лежачи в положення стоячи під дією сили тяжіння. Щоб показати ефективність запропонованої моделі, симуляція була проведена для постуральних змін, таких як лежачи на спині та стоячи на спині за нормальних умов, ортостатичної гіпотензії та гіпертензії [141].

Синдром постуральної ортостатичної тахікардії – це серцево-судинний вегетативний розлад із недостатньо вивченою етіологією й основною патофізіологією. Виявлено обернену залежність між рівнем гормону росту й вираженістю цього синдрому [88].

У багатьох пацієнтів із синдромом постуральної ортостатичної тахікардії помітна гіповолемія з дефіцитом об'єму плазми на 10-30 %. Деякі з

них також мають низький рівень альдостерону, знижене співвідношення альдостерон-ренін, незважаючи на підвищення рівня ангіотензину II, що засвідчує потенційну дисфункцію надниркових залоз. Для оцінювання реакції надниркових залоз у синдромі вимірювали циркулюючі рівні альдостерону й кортизолу після стимуляції адренкортикотропним гормоном. АКТГ адекватно підвищував рівні альдостерону та кортизолу в пацієнтів з синдромом [114].

Дієта з високим рівнем натрію протягом шести днів не індукує ендотеліальну дисфункцію в жінок. Це нефармакологічне лікування, що застосовують для пацієнтів із синдромом поступальної ортостатичної тахікардії, не має негативного впливу на функцію ендотелію, якщо використовуване протягом підгострого періоду [155].

Потік нижньої порожнистої вени й черевної аорти – важливий компонент системного кровообігу. Постуральні зміни можуть впливати на нижню порожнисту вену й черевну аорту під дією сили тяжіння, однак точні деталі невідомі. Досліджено, що ефект гравітації зменшує кровотік у цих судинах [92].

Запаморочення та ризик падінь після стояння можуть бути безпосередньо пов'язані зі зниженням доставлення кисню до мозку. Створюючи умови, які збільшували падіння мозкового кровотоку в здорових молодих людей, дослідники продемонстрували безпосередній зв'язок із більшою постуральною нестабільністю. Ці результати засвідчують необхідність вимірювання мозкового кровотоку та/або оксигенації після постуральних змін у таких групах населення, як люди похилого віку, щоб допомогти в оцінюванні ризику падіння [60].

В умовах одночасного впливу температури навколишнього середовища й постурального стресу для підтримання артеріального тиску та терморегуляторного гомеостазу необхідні інтегровані регіональні реакції кровотоку. Виявлено більшу активацію симпатичних нервів і вищу міогенну активацію литкових м'язів за пікових температур у положенні стоячи.

Механічно й функціонально судинна система рук реагує на модуляцію терморегуляції та активності барорецепторів [59].

Вплив вертикального положення голови на церебральний кровообіг на ранній стадії постішемічного інсульту до кінця не вивчений. Проведений систематичний огляд і мета-аналіз для дослідження впливу положення голови на церебральну гемодинаміку, оцінену за допомогою методів візуалізації після ішемічного інсульту. Із 21 включеного дослідження (n = 529) у 15 використовували транскраніальну доплерографію. У 17 дослідженнях повідомлено про зміни параметрів (збільшення в положенні лежачи або зменшення в більш вертикальному положенні) в ішемізованій півкулі в разі зміни положення [41].

Цереброваскулярна реактивність і церебральна ауторегуляція – два основні механізми, які регулюють мозковий кровотік. Обидва механізми зазвичай оцінюють у положенні лежачи або сидячи, але вплив положення тіла та статевих відмінностей донині не з'ясований. У цьому дослідженні за допомогою транскраніальної доплерографії середньої мозкової артерії вивчено вплив положення тіла (лежачи, сидячи, стоячи) на цереброваскулярну реактивність під час гіпер- і гіпокапнії, а також на церебральну ауторегуляцію під час спонтанного й уповільненого дихання в здорових чоловіків та жінок. Результати засвідчили помітне покращення цереброваскулярної реактивності в положенні лежачи на спині, порівняно з положеннями сидячи та стоячи. Чоловіки й жінки мали подібну цереброваскулярну реактивність і церебральну ауторегуляцію під час як спонтанного, так і повільного дихання [57].

Проведено дослідження на великій кількості пацієнтів із поступальною тахікардією з Індії, де оцінювали ВСР. Продемонстровано знижену парасимпатичну активність і підвищену симпатичну активність у пацієнтів із порушеннями реакції на ортостаз, порівняно зі здоровими особами. Підвищена частота серцевих скорочень у стані спокою та LF/HF виявилися

потенційними предикторами поступальної тахікардії і майбутніх серцево-судинних ризиків [81].

Порівняно частоту серцевих скорочень і варіабельність серцевого ритму на постуральну провокацію в 175 та 176 здорових жінок і чоловіків (у віці $33,1 \pm 9,1$ року). Використано два різні постуральні провокаційні тести зі зміною положення лежачи-сидячи-стоячи-лежачи та лежачи-стоячи-сидячи-лежачи (15 хв стоячи, 10 хв в іншому положенні). Продемонстровано, що, незважаючи на однакове збільшення частоти серцевих скорочень, жінки реагують на стояння більш суттєвими змінами в симпато-вагусних модуляціях серця [76].

Серцево-судинна дисавтономія – поширене явище в людей, які одужали від COVID-19, зі значно нижчими показниками ВСР, порівняно зі здоровими особами під час ортопроби. ШІ-модель змогла відрізнити пацієнтів, які перехворіли на COVID-19, від здорових осіб за показниками ВСР [150].

Суворий карантин через COVID-19 мав протилежні наслідки для населення Франції, оскільки 20 % учасників покращили парасимпатичну активацію (RMSSD, HF) і позитивно оцінили цей період. Водночас 80 % продемонстрували змінені реакції та погіршення самопочуття. Зміни параметрів ВСР під час і після періоду карантину відповідали суб'єктивним реакціям на самопочуття [37].

Особливості регуляції ВНС (оцінена за показниками ВСР) у стані спокою та під час стресу, адаптація системи постурального контролю до ортостазу можуть бути використані для кількісного оцінювання фізичної витривалості людей похилого віку. Натільні датчики, що фіксують патерни «стимул-відповідь» і природні коливання функцій організму, уможливають моніторинг та врахування стійкості різних підсистем і в умовах вільного життя [100].

Вивчено внутрішньоіндивідуальні варіації варіабельності серцевого ритму (ВСР) і частоти серцевих скорочень при ортостатичному навантаженні

в елітних спортсменів-чоловіків під час тренувального табору. Частоту серцевих скорочень (варіабельність) вимірювали після пробудження. Перетворені в лог-формат показники ВСР оцінювали в трьох сегментах (перша хвилина відкинута для стабілізації): 0-3 хв у положенні лежачи, 3-6 хв у положенні лежачи та стоячи. Частоту серцевих скорочень оцінювали в положенні лежачи, через 15 с після стояння і середню останню 30 с стояння (протокол Rusko). Виявлено низьку внутрішньоіндивідуальну варіабельність показників ВСР під час ортостатичного навантаження в елітних хокеїстів спортсменів-чоловіків [171].

Доведено, що використання компресійного комірця для шиї полегшує ортостатичні симптоми у вертикальному положенні учасників із синдромом постуральної ортостатичної тахікардії. Це може бути пов'язано з компресією барорецепторів і подальшими змінами вегетативної функції [129].

Отже, упродовж останніх п'яти років науковці фокусували увагу на змінах у серцево-судинній системі, що фіксували під час змін положення тіла. Найбільший акцент зроблено на патологічних проявах цих реакцій.

1.3. Особливості адаптації організму атлетів до різних навантажень

Систематичне виконання фізичних вправ призводить до адаптаційних змін у різних системах організму, що відображаються на біохімічному, морфологічному, регуляторних рівнях. Спортивне чи оздоровче тренування може суттєво впливати на особливості реактивності серцево-судинної системи людини до різних навантажень, зокрема до змін положення тіла [134].

Скелетні м'язи людини демонструють неабияку пластичність, пристосовуючись до численних зовнішніх подразників, як-от до звичного рівня скоротливого навантаження. Функція м'язів і здатність до фізичних навантажень охоплюють широкий спектр – від неактивних людей із низьким рівнем витривалості й сили до елітних спортсменів, які досягають

приголомшливих результатів, підкріплених адаптацією м'язів, що зумовлене тренуванням. Сучасне розуміння інтеграції сигналів, інтерпретації та вихідної координації клітинних і молекулярних механізмів, які керують м'язовою пластичністю в цьому континуумі, потребує доопрацювання. Особливості адаптації описані в контексті вроджених генетичних і міжіндивідуальних відмінностей у фізичній працездатності та продуктивності [62].

Пластичність скелетних м'язів забезпечує величезний потенціал адаптації до різноманітних внутрішніх і зовнішніх стимулів та збурень. Найважливішим є те, що зміни скоротливої активності зумовлюють масивну перебудову біохімічних, метаболічних, силових властивостей. В останні роки виявлено велику кількість сигналів, сенсорів, регуляторів та ефекторів, які беруть участь у цих адаптивних процесах. Попри це, розуміння молекулярних основ тренувальної адаптації має рудиментарний характер. Зокрема, невідомі механізми, які лежать в основі інтеграції сигналів, вихідної координації, функціональної надмірності та інших складних рис м'язової адаптації [63].

Напружені фізичні вправи слугують потужним стимулом, що викликає корисні адаптації скелетних м'язів, починаючи від підвищення витривалості, завдяки мітохондріальному біогенезу та ангиогенезу, і закінчуючи збільшенням сили через гіпертрофію. Утім, у разі порушення адаптації може виникнути синдром перенапруження. Основні механізми цього такі: 1) гіпотеза виснаження глікогену; 2) гіпотеза пошкодження м'язів; 3) гіпотеза запалення; 4) гіпотеза оксидативного стресу. У сучасних працях представлено дані, що засвідчують активні форми кисню та азоту як найбільш вірогідні механізми, які сприяють розвитку перенапруги в скелетних м'язах [48, 79, 146].

Високе метаболічне збурення в скелетних м'язах, зумовлене високоінтенсивним тренуванням, є основним стимулом для їх адаптації. У серцево-судинній системі високоінтенсивні тренування породжують

гемодинамічний стрес і відхилення в рівня Ca^{2+} як основні стимули для функціональної та структурної адаптації серця і судин. Для імунної системи гемодинамічний стрес, гормони, екзосоми та доступність O_2 стають стимулами, які опосередковують свої ефекти через зміну різних сигнальних процесів і призводять до локальних та системних реакцій [173].

У науковій літературі схарактеризовано біохімічні, клітинні, біомеханічні сигнали для індукованого фізичними вправами ангиогенезу скелетних м'язів, зокрема позаклітинні везикули та циркулюючі ангиогенні клітини. Продемонстровано вплив віку, статі, інтенсивності / тривалості фізичних навантажень на цей процес [143].

Існування нервово-м'язового патерну скорочення-розслаблення-скорочення в м'язах каратистів засвідчує застосування тренувальних стратегій, що охоплюють як швидкі м'язові скорочення, так і розслаблення [85].

Учені порівнювали ефекти 8 тижнів (24 заняття) між комплексним тренуванням з ексцентричним перевантаженням і традиційним комплексним тренуванням добре тренованих волейболістів на адаптацію м'язів, зокрема гіпертрофію, силу й силові показники. У працях підсумовано, що такі перевантаження впливають на м'язову адаптацію, покращуючи її продуктивність у добре тренованих волейболісток [175].

Систематичні силові навантаження призводять до суттєвого збільшення показників м'язової потужності, сили, швидкості та стрибучості в елітних спортсменок. Однак донині не розв'язане питання оптимального дозування програмних параметрів, таких як інтенсивність і тривалість тренувань, необхідних для досягнення ефекту в показниках м'язової підготовленості та фізіологічної адаптації в спортсменок [184].

Згідно з результатами аналізу багаторічної адаптації пауерліфтерів, найсильніші чоловіки вдосконалюються повільніше, ніж жінки, можливо, через ефект силовой стелі [112]. Вправи з обмеженням кровотоку – потенційний спосіб посилити адаптивну реакцію на тренування та

покращити продуктивність людей, які тренують витривалість. У поєднанні з вправами на опір із низьким навантаженням, вправами на витривалість низької та середньої інтенсивності, спринтерськими інтервальними вправами обмеження кровотоку може забезпечити посилений гострий стимул для ангиогенезу й мітохондріального біогенезу. Ці посилені гострі реакції здатні призвести до посилення капілярного кровопостачання та мітохондріальної функції [58], гормонального й оксидативного стресу [75].

Вправи з низьким навантаженням з обмеженням кровотоку можуть стимулювати ріст усього м'яза та покращувати його функцію, однак існує обмежена кількість знань про ефекти на міоцелюлярному рівні. Учені допускають, що такий вплив здатний викликати одночасну міофібрилярну, мітохондріальну та мікросудинну адаптацію скелетних м'язів, пропонуючи альтернативну стратегію протидії погіршенню здоров'я та функції скелетних м'язів у клінічних популяціях [172].

Виконання ішемічного прекодиціювання перед силовими навантаженнями може бути важливою рекомендацією щодо призначення вправ для максимальної продуктивності повторень і загального обсягу виконуваної роботи, отже, потенційно збільшити бажані тренувальні адаптації [53, 80]. Локальне обмеження кровотоку також здатне впливати на витривалість м'язів [156] і загальну працездатність спортсменів [138], стан м'язів пацієнтів із розривом хрестоподібної зв'язки [90].

Хронічна гіпоксія в умовах середньогір'я позитивно впливає на скоротливість м'язів під час і після повторних скорочень на великій висоті. М'язові адаптації, що виникають при цьому, не залежать від адаптацій інших систем організму [144, 167].

Регулярні або інтенсивні тренування, особливо в спортсменів, які займаються динамічними видами спорту, призводять до структурних і функціональних адаптацій серцево-судинної системи, що сприяють підвищенню здатності доставляти кисень до м'язів, які працюють, під час тривалих фізичних навантажень [148].

Під час фізичного навантаження збільшується потреба міокарда в кисні, що призводить до збільшення коронарного кровотоку. Фізичні вправи можуть слугувати засобом посилення артеріогенезу в пацієнтів зі стабільною ішемічною хворобою серця. Дослідження, автори яких вивчають здатність фізичних вправ стимулювати розвиток колатерального кровотоку в людей, містять суперечливі судження. Однак ці суперечності можуть бути пов'язані з гетерогенністю методів оцінювання, що використовують для кількісного аналізу змін [131]. Регулярні фізичні вправи, що виконують літні люди, запобігають ендотеліальній дисфункції мікросудин [147]. Під час помірних аеробних вправ покращується венозне повернення до серця [101].

Продемонстровано, що в елітних велосипедистів жіночої та чоловічої статі тренування (5×50 хв занять на тиждень протягом 5 тижнів) сприяють підвищенню гематологічних параметрів більше, ніж контрольні тренування, натомість властивості скелетних м'язів не змінюються [116].

У науковій літературі звернено достатньо уваги на питання адаптації серця та артерій унаслідок тренування на витривалість, водночас бракує інформації про вплив на венозну систему. Описані ремоделювання глибоких і перфорантних вен, покращення дренажу та збільшення венозного об'єму литок у стані спокою та під час активації литкового м'язового насоса. Після тренувань спортсмени демонстрували швидке відновлення кровотоку та зменшення об'єму, а вени сприятливо адаптувалися, щоб краще переносити вимоги регулярних фізичних навантажень [164]. Досліджено позитивний вплив ходьби на венозне повернення до серця [122].

У фокусі уваги вчених перебувають також проблеми адаптації атлетів до змін положення тіла. Серед 132 спортсменів (53 з рефлексорною неприємністю в анамнезі та 79 без такої) проведено пасивний тест із нахилом протягом 30 хв. Вимірювали показники гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму та барорефлекторної чутливості. Отримані результати підтверджують, що нова стратифікація на основі гемодинамічних

критеріїв може підвищити чутливість тесту з нахилом для діагностики рефлекторної непритомності в спортсменів [49].

Точність відстеження гемодинамічних змін у спортсменів погіршувалася зі збільшенням нахилу, що засвідчує гравітаційний вплив на роботу серця. Незважаючи на зручні фізичні характеристики, придатність PhysioFlow (портативного неінвазивного трансторакального біоімпедансного монітора) для спортивного використання є сумнівною [48].

Двадцять чотири треновані молоді спортсмени (12 чоловіків і 12 жінок, середній вік $18 \pm 3,4$ року) із рецидивуючими незрозумілими синкопе, пов'язаними з фізичним навантаженням, були обстежені за допомогою тесту на вертикальному нахиленому столі протягом 30 хвилин з або без інфузії ізопротеренолу (1-3 мкг/хв-1 внутрішньовенно) для провокування брадикардії, гіпотензії або й того, й іншого. З'ясовано, що тест на нахиленому столі з вертикальним положенням голови в поєднанні з інфузією ізопротеренолу корисний для діагностики вазовагального синкопе в молодих спортсменів із повторюваними синкопе, пов'язаними з фізичним навантаженням, а також для оцінювання ефективності профілактичної фармакотерапії [72].

Одне з досліджень проведено серед 80 спортсменів силових видів спорту (важкоатлетів і бодибілдерів). Із них 40 спортсменів, які використовували андрогенні анаболічні стероїди, відповідно до свого стану, утворили групу А, натомість 40 спортсменів, які не застосовували ці речовини, – групу В, 40 здорових осіб, які не займалися спортом (група С), були контрольною групою. Усі учасники пройшли тест із нахилом голови вгору з використанням 30-хвилинного протоколу для оцінювання барорефлекторної чутливості та короткої модуляції ВСР. Тривале застосування анаболічних стероїдів у спортсменів силових видів спорту призводить до змін вегетативних модуляцій серцево-судинної системи, які асоціюються з показниками ранньої діастолічної дисфункції лівого шлуночка [102].

З'ясовано, що під час швидкого нахилу в стані спокою, унаслідок виведення вагуса, артеріальна барорефлекторна чутливість може швидко знижуватися та передувати перезавантаженню робочої точки. Під час стаціонарного стану фізичного навантаження очікувана інша кінетика через нижчу вагусну активність, ніж у стані спокою [161].

Збільшення м'язової симпатичної нервової активності під час ритмічної рухової активності частково опосередковане зменшенням симпатичного барорефлексу. Крім того, чоловіки демонструють більше зростання загальної симпатичної активності під час вертикальної пози, ніж жінки. Ці дані доводять, що барорефлекс частково опосередковує збільшення симпатичної активності під час фізичного навантаження, чоловіки мають більший симпатичний вазоконстрикторний резерв, ніж жінки [55].

Активне ортостатичне тестування може надати додаткову інформацію про реактивність і відновлення серцевого ритму, що інформує про тренувальний статус спортсменів, рівень втоми й адаптацію до навантажень. Вимірювання в положенні стоячи може також протидіяти проблемі парасимпатичного насичення, що є поширеним явищем, особливо в добре тренуваних спортсменів на витривалість. Інтерпретацію даних потрібно проводити в межах внутрішньо-індивідуальної історії, аналізувати тенденції, що зважають на міжіндивідуальні варіації гострих реакцій під час тестування, зумовлені життєвими й фізичними тренувальними стресами. Частоту ортостатичної непереносимості варто оцінювати на індивідуальному рівні, брати до уваги в ході розгляду питання про проведення ортостатичного тестування в окремих субпопуляціях [70].

Заняття контактними видами спорту можуть спричинювати струс мозку, що впливає на вегетативну функцію, а також повторні черепно-мозкові травми. Струс мозку в спортсменів не має тривалого впливу на вегетативну функцію. Дисавтономія не простежувана переважно під час хронічного відновлення після струсу мозку в осіб, які займаються контактними видами спорту [151].

Отже, у публікаціях останніх років звернено увагу на проблему адаптації атлетів різних видів спорту до змін положення тіла. Утім, більшість сучасних досліджень акцентує оцінювання станів на межі норми та патології. Епізодичний характер має вивчення індивідуальних особливостей реактивності серцево-судинної системи спортсменів на пасивні зміни положення тіла.

РОЗДІЛ II

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальні умови та організація проведення досліджень

Вимірювання проведено у чоловіків-студентів, які навчались у Черкаському національному університеті ім. Богдана Хмельницького. У ході дослідження дотримано 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. Вимірювання проведено на 76 чоловіках віком 18-25 років. За даними медичного обстеження, усі особи були практично здоровими. Перед проведенням обстежень вони не мали великих емоційних та фізичних навантажень.

Приміщення лабораторії за гігієнічними параметрами відповідало нормативним вимогам. Вимірювання здійснювали в робочі дні в першій половині дня.

Кожна особа перед виконанням завдань була ознайомена з послідовністю та методикою проведення досліджень, поінформована щодо мети й завдань вимірювань, змісту тестового навантаження. Усі досліджувані надали письмовий дозвіл на його проведення вимірювань та наукове використання результатів.

Порядок обстеження для всіх осіб був стандартним. Спочатку на кінцівки та грудну клітку обстежуваного накладали реографічні й електрокардіографічні електроди, манжету для вимірювання артеріального тиску. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально на ортостатичному столі впродовж 5-10 хвилин вимірювали показники гемодинаміки центральної та периферійної гемодинаміки. Вимірювання повторювали на 5-й хвилині після нахилу на 15°, 30°, 45°, 60° та на 20-й

хвилині за нахилу 60° , через 5 хвилин після повернення в горизонтальне положення. Запис пульсограм та їх аналіз проводили за 3-хвилинним часовим відрізком перед реєстраціями гемодинамічних показників. Загальний вигляд ортостатичного столу та накладення електродів зображено на рис. 2.1. Під час вимірювань за всіх умов вимірюваний доторкався стопами до поролонової прокладки без опори на площадку ортостатичного столу. Для запобігання зісковзання тіла використано ремінь від вертикалізатора.



Рис. 2.1. Положення досліджуваного для проведення пасивної градуальної ортопроби під кутом 15°

Умови тестування для всіх вимірюваних були максимально стандартизовані за такими параметрами: температура повітря в кімнаті, психофізіологічний стан, вік студентів, відсутність уживання ліків і попереднього фізичного навантаження, позиція перед тестуванням, позиція рук під час тестування, швидкість зміни положення тіла, кут нахилу.

Група спортсменів (I, $n=17$) складалася з представників таких видів спорту: єдиноборці (ММА, бокс, боротьба, $n=8$), легка атлетика (біг 400 м, $n=4$), веслування на байдарках і каное ($n=5$). Усі спортсмени мали розряд кандидат у майстри спорту чи майстер спорту, регулярно тренувалися не менше як п'ять разів щотижня з тривалістю кожного заняття від 1 до 3 годин. Контрольну групу (II, $n=17$) становили чоловіки такого самого віку, що не займалися регулярними фізичними тренуваннями.

2.2. Вимірювання та розрахунки показників центральної і периферичної гемодинаміки

Для визначення показників гемодинаміки використано такі методики: трансторакальна тетраполярна імпедансна реоплетизмографія, реографія нижніх кінцівок, електрокардіографія, артеріальна тонометрія.

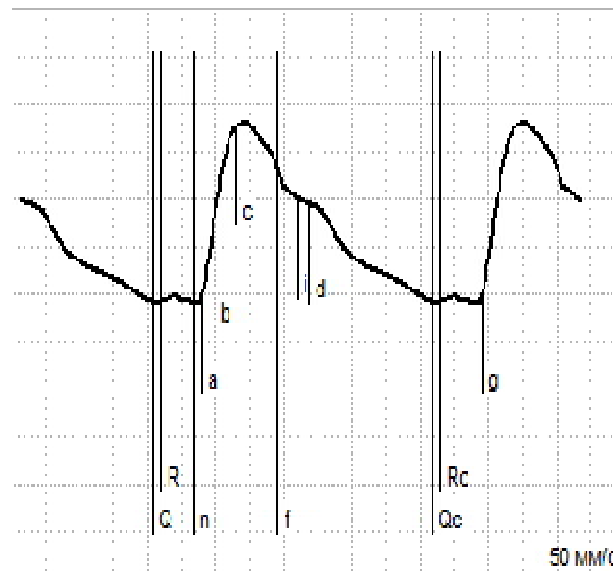
Артеріальний тиск (АТ) вимірювали ртутним тонометром Riester (Germany) аускультативним способом Короткова. Середній артеріальний тиск визначали за формулою Хікема [4]:

$$AT_{сер} = AT_{діаст} + (AT_{сист} - AT_{діаст})/3, \text{ де}$$

$AT_{діаст}$ – діастолічний артеріальний тиск;

$AT_{сист}$ – систолічний артеріальний тиск.

Реоплетизмограму грудної клітки реєстрували на реографі ХАІ-medica standard (ХАІ-medica, Харків, Україна), що виконаний за тетраполярною схемою. Цей комплекс призначений для поглибленого вивчення стану серцево-судинної системи людини, дає змогу досліджувати як центральну гемодинаміку, так і кровообіг різних регіонів, зокрема нижніх кінцівок. Реографічний метод має низку суттєвих переваг: технічна й методична простота, атравматичність, тривалість і неперервність дослідження показників, повторюваність вимірів, достатня точність та фізіологічна обґрунтованість. Цей метод базований на реєстрації електричного опору тканини чи органу. У момент появи в міжелектродному просторі збільшеного потоку крові електропровідність цієї зони збільшується, а опір зменшується. Спад пульсової хвилі й амплітуди реограми зумовлений зниженням електропровідності під час діастоли (рис. 2.2). Коливання опору пов'язані як зі зміною об'єму крові, так й зі швидкістю її руху. На коливання опору впливають скоротлива здатність міокарда, діаметр, еластичність судин, умови венозного відтоку, фази дихання, розмір і форма електродів. У генезі інтегральної кривої реограми провідну роль відіграють пульсові коливання кровонаповнення.



**Рис. 2.2. Фрагмент запису грудної реограми
з поставленими критичними точками для розрахунку
показників центральної гемодинаміки та кардіодинаміки**

Для запису реограми два стрічкові електроди накладали навколо шиї (ближче до ключиць), два інших – у ділянку нижніх відділів грудної клітки так, щоб вимірювальний електрод був розташований на рівні мечоподібного відростка грудини. До токових електродів під'єднували токові кабелі реографа, а до потенціальних – потенціальні кабелі. За сигналами диференціальної імпедансної реограми в програмі ReoCom (Харків 2006) за методом W. Kubicek [106] автоматично проводили розрахунки серцевого викиду та показників кардіодинаміки.

Згідно з літературними джерелами, серед гемодинамічних параметрів виокремлено найбільш інформативні, які проаналізовано під час передопераційної підготовки у відділеннях інтенсивної терапії, відповідно до протоколу Міністерства охорони здоров'я України № 297 (02.04.2010).

Ударний або систолічний об'єм крові (УОК) – це кількість крові, що виштовхується шлуночком за кожного скорочення. Його величина залежить від об'єму серцевих порожнин, функціонального стану міокарда, потреби організму в крові.

Інтегральним показником функції серця як насоса є хвилинний об'єм крові (ХОК), що характеризує загальну кількість крові, яка перекачується

правим і лівим відділами серця протягом однієї хвилини в ССС. На нього впливають функціональний стан організму, температура тіла, величина фізичного навантаження тощо. У ході узагальнення гемодинамічних результатів використовують дані досліджуваних, зазвичай, різного зросту та ваги. Усталеним є підхід, згідно з яким зіставляють ті показники кровообігу, що залежать від розмірів людини до площі поверхні її тіла для визначення індексів. Площу поверхні тіла розраховано за формулою Дю Буа:

$$P_T (m^2) = B^{0,423} \cdot P^{0,725} \cdot 0,007184 \quad (2.8)$$

де P_T – площа поверхні тіла (m^2); B – маса тіла (кг); P – довжина тіла (см); 0,007184 – постійний емпірично знайдений коефіцієнт.

Ударний індекс (УІ) визначає, наскільки ударний об'єм крові відповідає індивідуальним антропометричним даним. Серцевий індекс (СІ) – це відношення ХОК до площі загальної поверхні тіла, що характеризує насосну функцію серця та є показником його продуктивності й економічності. Ця величина також нівелює відмінності досліджуваних чоловіків за масою та зростом, дає змогу враховувати залежність лише від хвилинного кровотоку. У нормі він становить 2-4 л/хв· m^2 .

Під час аналізу полікардіограми (синхронний запис ЕКГ та реокардіограми) можна виокремити період напруження (ПН), який триває від початку збудження шлуночків до моменту відкриття півмісяцевих клапанів. У нормі становить 0,08 с, його тривалість не залежить від ЧСС. Відомо, що цей показник – важливий та інформативний складник серцевого циклу, оскільки характеризує стан обміну речовин у серцевому м'язі, що регулює швидкість поширення деполяризації та величину електромеханічної латентності, а також демонструє здатність серцевого м'яза в широких межах змінювати швидкість зростання тиску, що зумовлює швидке й повноцінне пристосування міокарду до діяльності в умовах змінних запитів організму. Під час цієї фази м'яз витрачає велику кількість енергії, яка не використовується на переміщення крові з камери шлуночка до судинної системи. Подовження тривалості цієї фази вважають нераціональним. Отже,

визначення ПН використовують для об'єктивного оцінювання скоротливої здатності серцевого м'яза.

Період вигнання (ПВ) також відображає систолічну фазу, упродовж якої серцевий м'яз виконує максимально ефективну механічну роботу з переміщення крові до судинної системи. Цей період починається, коли тиск у шлуночках перевищить діастолічний артеріальний тиск в аорті та легеневій артерії, а закінчується, коли тиск в артеріях зрівнюється з тиском у шлуночках. Норма – 0,25 с. Упродовж цього періоду серцевий м'яз виконує максимально ефективну механічну роботу з переміщення крові до судинної системи.

Індекс напруження міокарду (ІНМ) визначено як відношення періоду напруження до загальної систоли у %, що є інформативним показником, який засвідчує ступінь напруження компенсаторних механізмів організму, рівні функціонування центрального контуру регуляції ритму серця.

Об'ємна швидкість викиду (ОШВ) характеризує кінетичну енергію, яка розвивається міокардом під час систоли та є відношенням ударного об'єму крові до часу її вигнання.

Рівень кровонаповнення грудної клітки (КН) – розрахунок величини відносного кровонаповнення органів грудної клітки за формулою:

$$\text{КН (у.о.)} = \frac{L^2}{Z} \quad (2.14)$$

де КН – рівень кровонаповнення органів грудної клітки, L – відстань між електродами току (см), Z – рівень базового імпедансу (Ом) [4].

Реограму кінцівок реєстрували також на реографі ХАІ-медика standard (ХАІ-medica, Харків, Україна), використовуючи стрічкові електроди, змащені електропровідною пастою, зафіксовані на правій і лівій гомілках. За такого розміщення електродів реєструють пульсові коливання в ділянці гомілок (рис. 2.3).

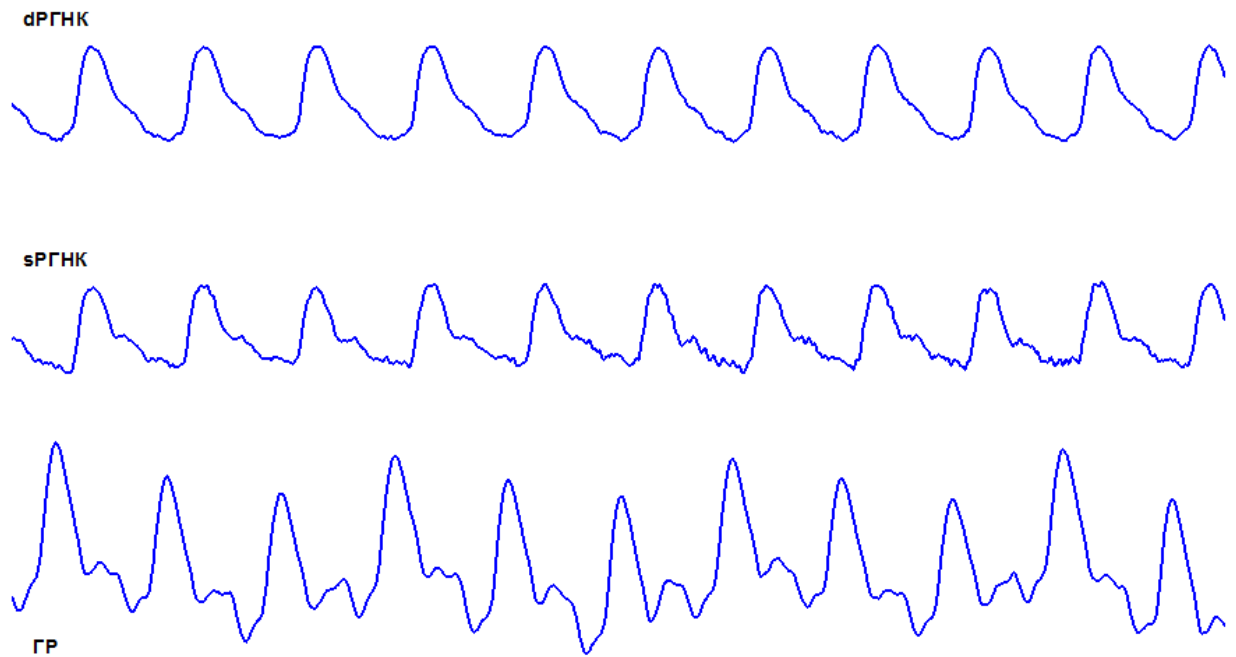


Рис. 2.3. Фрагмент оригінального запису реоенцефалографічних сигналів правої (dPGHK), лівої гомілок (sPGHK) та грудної реограми (GP)

У програмі ХАІ-медика, як і в разі з центральною геограмою, автоматично проставляють критичні точки на периферійних реографічних сигналах (рис. 2.4).

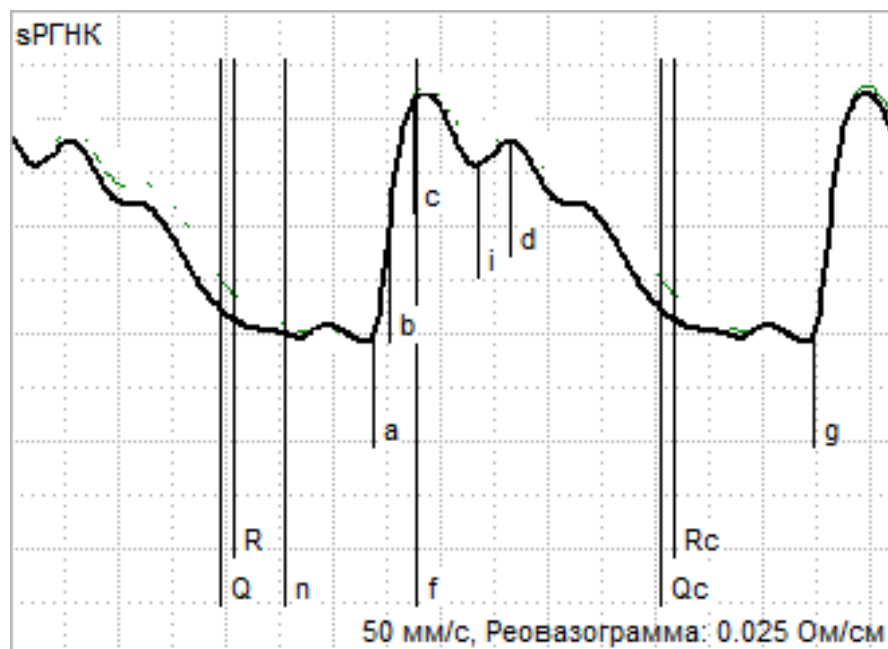


Рис. 2.4. Реовазограма лівої гомілки з проставленими критичними точками

Серед результатів характеристик периферійної гемодинаміки проаналізовано такі показники: амплітуда систолічної хвилі реограми (АСХ, характеризує величину пульсового кровонаповнення), максимальна швидкість кровонаповнення (V_{\max} , характеризує зміни тонузу великих артерій), середня швидкість кровонаповнення ($V_{\text{сер}}$, характеризує тонуз артеріол, амплітудно-частотний показник (АЧП, характеризує величину об'ємного кровотоку досліджуваної ділянки). Реактивність фізіологічних показників визначали як зміни у % між їхнім рівнем за експериментального впливу, порівняно з фоном.

Синхронно з реєстрацією реограми проводили записи електрокардіограми. Електроди ЕКГ розміщували відповідно до стандартних відведень: трохи вище від кисті, на внутрішній поверхні правого й лівого передпліч, а також на передньо-внутрішній поверхні нижньої третини гомілки. За записами ЕКГ аналізували тривалість серцевого циклу (t-R-R) – відстань на ЕКГ між верхівками зубців R, що є оберненою величиною ЧСС та відображає кінцевий результат численних регуляторних впливів на серцевий викид.

Реактивність фізіологічних показників оцінювали як різницю між їхнім рівнем за експериментальних впливів та у фоні.

2.3. Вимірювання показників варіабельності серцевого ритму

Запис варіабельності серцевого ритму (BCP) проводили за допомогою кардіодатчика Polar W.I.N.D. Link. Під час кожного дослідження дані з кардіодатчика передавали через порт приймача Polar Wearlink W.I.N.D до персонального комп'ютера, відомості записували та аналізували за допомогою програми Polar Protrainer 5.0 (Polar ElectroOY, Finland).

Потім кардіоінтервалограми обробляли у програмі «Caspico» (а.с. України № 11262) [16]. У роботі використано методи часового та спектрального аналізу. За 3-хвилинними записами в спокої та під час

експериментальних впливів оцінювали хвильову структуру серцевого ритму, яку визначали за допомогою швидкого перетворення Фур'є, що розкладає функцію на осциляторні та використовується для того, щоб розрахувати спектр частот для сигналів змінних у часі. Згідно зі стандартами Європейського кардіологічного товариства, за спектрограмою серцевого ритму визначали [163]:

TP – загальна потужність коливань R-R інтервалів, що вимірювана в частотному діапазоні до 0,4 Гц протягом 5 хв та є показником загальної ВСР (сума значень VLF, LF та HF);

HF – 0,15-0,4 Гц – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні високих частот, що засвідчує парасимпатичний вплив на серцевий ритм; абсолютна величина HF становить 1000 мс^2 та 15-25 % від сумарної потужності;

LF – 0,04-0,15 Гц – відображає низькочастотний складник ВСР, що характеризує симпатичний тонус; у нормі частка вазомоторних хвиль у положенні лежачи становить 15-40 %;

VLF – 0-0,04 Гц – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні дуже низьких частот, яка відображає гуморальні впливи на ритм серця, активність центрів осциляторів, коливання метаболізму; у нормі в умовах спокою потужність у діапазоні цих частот дорівнює 15-35 % від сумарної потужності спектру.

Спектральний аналіз передбачає також визначення HF_{norm} – нормалізованої потужності спектру в діапазоні 0,15-0,4 Гц, що засвідчує відносну парасимпатичну активність, тобто відображає рівень вагосимпатичного балансу. Розраховано за формулою: $\text{HF}_{\text{norm}} = (\text{HF}/(\text{HF} + \text{LF})) \cdot 100\%$. Значення цього показника відображає відносний внесок коливань серцевого ритму високої частоти в загальну спектральну потужність, без урахування потужності хвиль дуже низької частоти. Крім цього, визначено tLF – частоту найбільшого за амплітудою піку на

спектрограмі в діапазоні низьких частот, aLF – спектральну щільність цього піку.

Серед показників часового аналізу ВСР, що запропоновані в міжнародних стандартах, вивчено такі:

SDNN – стандартне відхилення інтервалів R-R, що демонструє варіативність масиву кардіоінтервалу; відомо, що в здорових осіб вища варіативність будь-якого фізіологічного показника маркує високий рівень пристосувальних можливостей; у разі зниження варіативності система працює на виконання не кількох, а одного найбільш важливого завдання, що засвідчує високий рівень регуляторного напруження; вищі значення SDNN (за умови відсутності аритмій і виражених трендів) доводять більш високі функціональні можливості організму;

rMSSD – стандартне (середнє-квадратичне) відхилення різниці послідовних R-R інтервалів, що є виміром ВСР із малою тривалістю циклів та відображає парасимпатичну активність; збільшення цього показника дає підстави говорити про посилення автономної регуляції, тобто збільшення впливів дихання на ритм серця;

Індекс напруження (ІН) – інтегральний показник напруження регуляції серцево-судинної системи.

Зміна показників часового аналізу ВСР у напрямку збільшення та зменшення пов'язана з посиленням парасимпатичних впливів, з активацією симпатичного тону ВНС. Реактивність цих показників визначено як різницю між їхнім рівнем за експериментальних впливів та у фоні.

2.4. Статистичний аналіз даних

Результати досліджень обробляли методами математичної статистики, які забезпечують кількісний і якісний аналіз показників, за допомогою персонального комп'ютера. Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм χ^2 .

Для оцінювання центральної тенденції вибірки, залежно від особливостей розподілу, визначено такі показники: середнє значення – середнє арифметичне всіх значень вибірки; медіана (Me) – значення, яке є серединою ранжованого ряду чисел.

Для характеристики варіативності вибірки з'ясовано такі статистичні характеристики: середнє арифметичне, середнє квадратичне відхилення, похибка середнього (для нормального розподілу); нижній кuartиль, верхній кuartиль (для ненормального розподілу).

За умови нормальності розподілу статистичних показників проаналізовано вибірки параметричними методами з розрахунком середніх значень та їхньої помилки. Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Фішера. У разі непараметричного розподілу розраховували медіани та їхні кuartилі з визначенням відмінностей за U-критерієм Mann-Whitney [67].

Ступінь статистичного зв'язку оцінювали для параметричних даних за коефіцієнтом кореляції Пірсона, у разі непараметричного розподілу даних – за ранговим коефіцієнтом кореляції Спірмена.

Для оброблення даних застосовано програми Statistica 12 for Windows (Statsoft Inc., Tulsa, USA), Polar Protrainer 5.0 (Polar ElectroOY, Finland), «Caspico» (а/с України № 11262). Достовірності відмінностей застосовано для порівняльного аналізу досліджуваних показників у фоні, під час навантажень і відновлення після них як для загальної вибірки, так і між групами. Для визначення статистичної достовірності отриманих результатів задано рівень значущості $p < 0,05$, $p < 0,01$ та $p < 0,001$.

РОЗДІЛ III

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Індивідуальні особливості центральної гемодинаміки при пасивному ортостазі

3.1.1. Особливості змін центральної гемодинаміки при градуальній пасивній ортопробі

Одними з основних гемодинамічних показників є рівні артеріального тиску. У стані спокою лежачи $AT_{\text{сист}}$, $AT_{\text{діаст}}$ та $AT_{\text{сер}}$ відповідали значенням норми для цієї вікової категорії (табл. 3.1).

Під час експериментальних впливів $AT_{\text{сист}}$ знижувався за нахилу 60° та залишався дещо нижчим за фонові показники навіть через 5 хвилин після повернення у вихідне горизонтальне положення, що може засвідчувати зниження серцевого викиду.

Таблиця 3.1

Показники артеріального тиску (мм рт. ст.) за різних кутів пасивної ортостатичної проби в 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*

* – $p < 0,05$ порівняно з рівнем у спокої лежачи.

Зафіксовано більш суттєві зміни $AT_{діаст}$. Підвищення відбувалося вже за кута нахилу 15° , у подальших градаціях нахилу $AT_{діаст}$ було більшим. У разі кута тіла вимірюваного 60° упродовж 20 хвилин зміни були меншими, ніж під час змін нахилу. Через 5 хвилин після переходу в горизонтальне положення цей показник стрімко знижувався, утім, не до фонового рівня. Середній артеріальний тиск також підвищувався в разі впливу, починаючи з кута 30° .

Такі закономірності відображають включення пристосувальних механізмів повернення крові до серця при ортостазі. Відбувається підвищення тону судин нижніх кінцівок, що призводить до збільшення систолічного артеріального тиску [23].

Реактивність показників артеріального тиску також була вищою у випадку з $AT_{діаст}$ (рис. 3.1), досягала $15,72 \pm 0,92$ мм рт. ст. ($p < 0,001$).

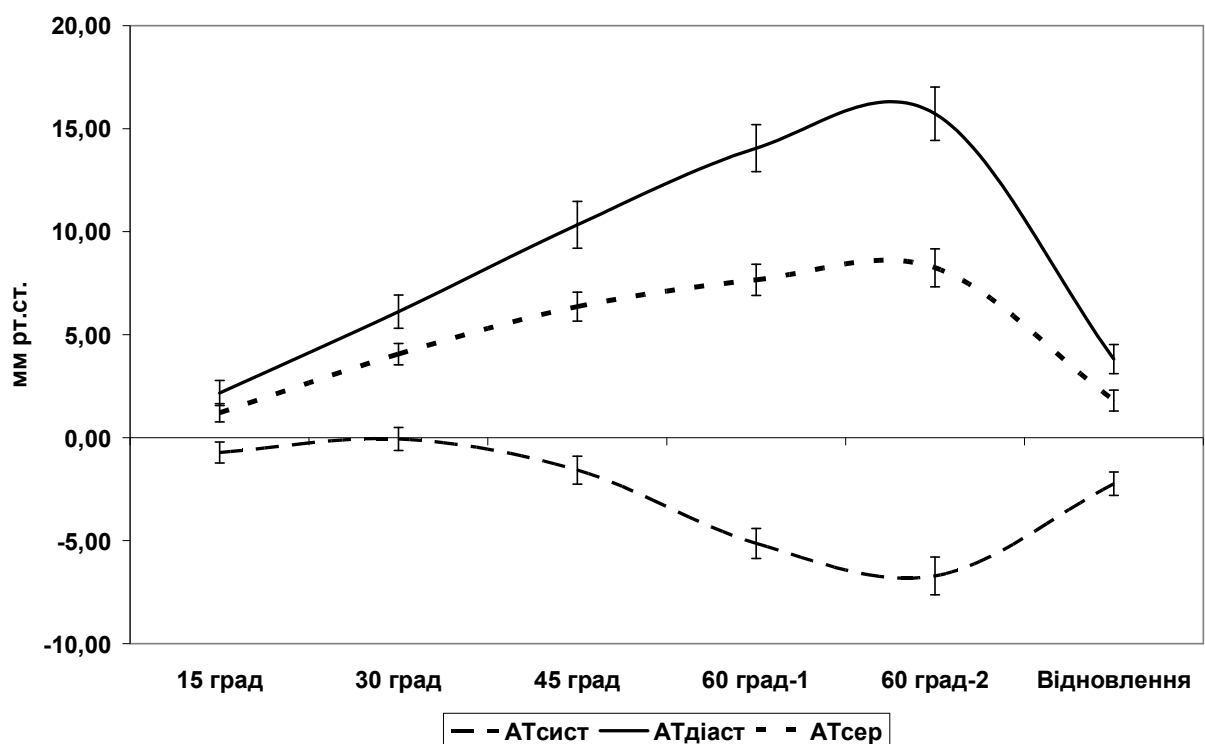


Рис. 3.1. Реактивність показників артеріального тиску (мм рт. ст.)

за різних кутів пасивної ортостатичної проби

в здорових молодих чоловіків (n=76)

Зрушення артеріального тиску вирізнялися індивідуальними відмінностями. У двох осіб зафіксовано парадоксальне зменшення $AT_{діаст}$ за

нахилу 60° на 10 і 20 мм рт. ст, у 2 – реакція цього показника була відсутня, у 9 простежувана гіперреактивність – більше як 20 мм рт. ст.

Зміни тривалості t-RR були вірогідними, починаючи з кута нахилу 30°. Максимуму такі показники досягали на 20-й хвилині нахилу 60° (табл. 3.2). Це може засвідчувати активацію симпатичної ланки автономної нервової системи, що забезпечує високий тонус периферійних судин, який потрібний для покращення венозного повернення до серця, а також залучення механізмів саморегуляції серцевої діяльності. Цікавим є збільшення t-RR від фонового рівня в період відновлення, що дає підстави говорити про посилення парасимпатичних впливів на серце.

Таблиця 3.2

**Тривалість інтервалу RR та серцевий викид
при градуальній пасивній ортопробі**

Умови	t-RR, мс	УІ, мл/м ²	СІ, л/м ² ·хв ⁻¹
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 порівняно з показниками в спокої лежачи.

Починаючи з навантаження в 30°, фіксували зниження як УІ, так і СІ. Утім, одразу після припинення тесту ці показники серцевого викиду відновлювалися до фонового рівня.

Серед змін показників кардіодинаміки впродовж тесту потрібно звернути увагу на динаміку тривалості фази напруження міокарду (табл. 3.3). Уже на першій градації навантаження $T_{\text{напр}}$ збільшувалося, досягаючи максимуму реакції за нахилу 45°. ОШВ, навпаки, зменшувалася. Такі зміни дають підстави говорити про синдром гіподинамії міокарду.

Аналіз змін кровонаповнення органів грудної клітки засвідчив, що зрушення були вірогідними тільки на останньому ступені навантаження, на 20-й хвилині. У фоні цей показник дорівнював $29,31 \pm 1,08$ у.о., а за кута нахилу 60° – $27,13 \pm 0,83$ у.о. ($p < 0,05$). Це доводить важливість підтримання рівня для забезпечення роботи серця в подібних умовах.

Таблиця 3.3

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	$0,260 \pm 0,004$	$0,121 \pm 0,002$	$250,22 \pm 13,77$
15°	$0,246 \pm 0,006^*$	$0,131 \pm 0,003^*$	$263,97 \pm 29,34$
30°	$0,222 \pm 0,006^*$	$0,145 \pm 0,003^*$	$226,33 \pm 10,98^*$
45°	$0,204 \pm 0,003^*$	$0,152 \pm 0,003^*$	$203,62 \pm 10,51^*$
$60^\circ-1$	$0,192 \pm 0,004^*$	$0,153 \pm 0,003^*$	$183,23 \pm 8,05^*$
$60^\circ-2$	$0,188 \pm 0,009^*$	$0,155 \pm 0,004^*$	$182,47 \pm 10,69^*$
Відновлення	$0,265 \pm 0,006$	$0,121 \pm 0,003$	$270,05 \pm 17,88$

* – $p < 0,05$ порівняно з показниками в спокої лежачи

Унаслідок аналізу індивідуальних особливостей реакцій КН на гравітаційне навантаження за нахилу 60° , зафіксовано парадоксальне виражене зменшення цього показника у 2 випадках, а в 17 – менш виражене збільшення за відсутності змін у більшості вимірюваних. Це може засвідчувати високу прогностичну значущість моніторингу КН при пасивному ортостазі.

Висновки до підрозділу

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

2. Пасивний ортостаз призводить до зниження тривалості інтервалу RR та показників серцевого викиду, які після повернення в горизонтальне положення відновлювалися.

3. У ході аналізу змін фази напруження та об'ємної швидкості серцевого викиду при пасивному ортостазі простежуваний прояв синдрому гіподинамії міокарду.

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

3.1.2. Вплив градуйованої пасивної ортопроби на гемодинаміку здорових чоловіків із різним рівнем вегетативного тону

В осіб із різним вихідним рівнем вегетативного тону зафіксовано відмінності в рівнях гемодинамічних показників у спокої лежачи (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Рівні показників центральної гемодинаміки в здорових молодих чоловіків із різним рівнем вегетативного тону

Показники	Групи		
	I	II	III
t-RR, мс	0,82±0,018	0,945±0,025*	1,068±0,04* [#]
АТ _{діаст} , мм рт.ст.	79,04±1,24	76,21±1,13*	75,25±1,28*
УІ, мл/м ²	33,55±3,76	34,07±3,72	46,64±4,81* [#]
СІ, л/м ² ·хв	2,46±0,24	2,156±0,218	2,67±0,225 [#]
Т _{вигн} , мс	0,25±0,005	0,259±0,008	0,275±0,009*
Т _{напр} , мс	0,127±0,004	0,117±0,003*	0,116±0,004*
ІНМ, %	33,62±0,89	31,52±0,92*	29,89±0,84*
ОШВ, мл/сек	238,40±21,76	220,92±20,80	290,19±29,47* [#]
КН, у.о.	30,56±1,93	26,41±1,55*	31,66±2,22 [#]

Примітка. * – p<0,05 порівняно з I; [#] – p<0,05 порівняно з II

Тривалість інтервалу RR відрізнялася в кожній із груп і була найнижчою у симпатотоніків, а найвищою – у парасимпатотоніків. Рівень діастолічного артеріального тиску вищий у симпатотоніків, порівняно з нормо- й парасимпатотоніками. Це цілком закономірно, продемонстровано в

класичних дослідженнях, оскільки індекс вегетативної рівноваги Кердо розраховано з цих показників, а також у сучасних порівняльних працях, присвячених особливостям методики визначення вегетативного тону за допомогою аналізу характеристик ВСР [31].

Для показників серцевого викиду характерне більш високе значення CI , особливо UI в парасимпатотоніків, порівняно з іншими типологічними групами. Це можна пояснити великою часткою впливу гетерометричних механізмів на роботу серця.

Водночас $T_{\text{вигн}}$ була меншою, а $T_{\text{напр}}$ та INM вищими в симпатотоніків, що доводить більшу напруженість і меншу економність у роботі серця.

ОШВ значно більша в парасимпатотоніків. Рівень кровонаповнення органів грудної клітки був найнижчим у нормотоніків, порівняно з особами крайніх груп.

Результати аналізу динаміки тривалості інтервалу RR упродовж тесту градуйованої пасивної ортопроби продемонстровано на рис. 3.2. У разі положення 15° відмінності між групами зберігаються, за впливів 30° та 45° – між симпатотоніками й парасимпатотоніками нівелюються. У разі впливу перших 10 хвилин на рівні 60° відсутні між усіма групами, а у випадку повернення в горизонтальне положення відбувається відновлення цього показника до вихідних рівнів та відмінностей у всіх типологічних групах.

Для діастолічного артеріального тиску характерне збільшення в усіх досліджуваних групах, що пропорційне до кута нахилу тулуба. Відмінності між групами, помітні в спокої лежачи, зберігаються. Після повернення в положення лежачи не зафіксовано повного відновлення цього показника до вихідного рівня.

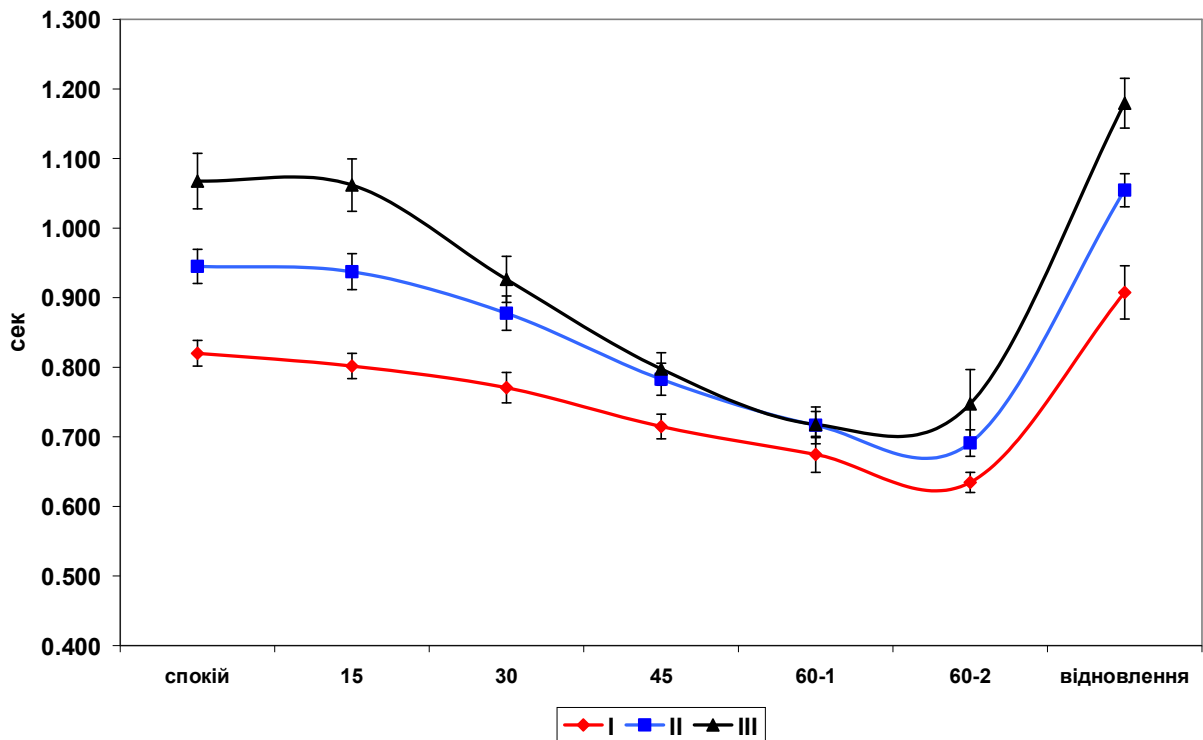


Рис. 3.2. Зміни тривалості інтервалу RR при градуальній пасивній ортопробі в осіб із різним рівнем вегетативного тонусу.

I – симпатотоніки, II – нормотоніки, III – парасимпатотоніки

Суттєвими були зміни УІ у всіх групах при градуйованій ортопробі, досягали мінімуму на 20-й хвилині в положенні тулуба 60°: для I із $33,55 \pm 3,76$ мл/м² до $16,18 \pm 1,40$ мл/м² ($p < 0,001$), для II – із $34,07 \pm 3,72$ мл/м² до $20,73 \pm 3,11$ мл/м² ($p < 0,001$), для III – із $46,64 \pm 4,81$ мл/м² до $21,03 \pm 2,68$ мл/м² ($p < 0,001$). Підвищення частоти серцевих скорочень не компенсувало зниження цього показника. СІ за максимального навантаження тесту знижувався в усіх групах. Відмінності між групами за вихідним рівнем вегетативного тонусу нівелювалися.

Фазовий аналіз структури серцевого циклу у вимірюваних осіб виявив низку закономірностей. Період вигнання в усіх групах за максимального нахилу знижувався, найбільшою мірою в парасимпатотоніків. Під час переходу в горизонтальне положення після проби зафіксовані вірогідні відмінності між його рівнями в усіх трьох групах: у I – $0,238 \pm 0,011$ сек, II – $0,269 \pm 0,008$ сек, III – $0,290 \pm 0,011$ сек. Фаза напруження та ІНМ

збільшувалися в усіх групах до рівня 45°. Для ІНМ за максимального гравітаційного навантаження з'являлася відмінність між значеннями для II та III груп (рис. 3.3).

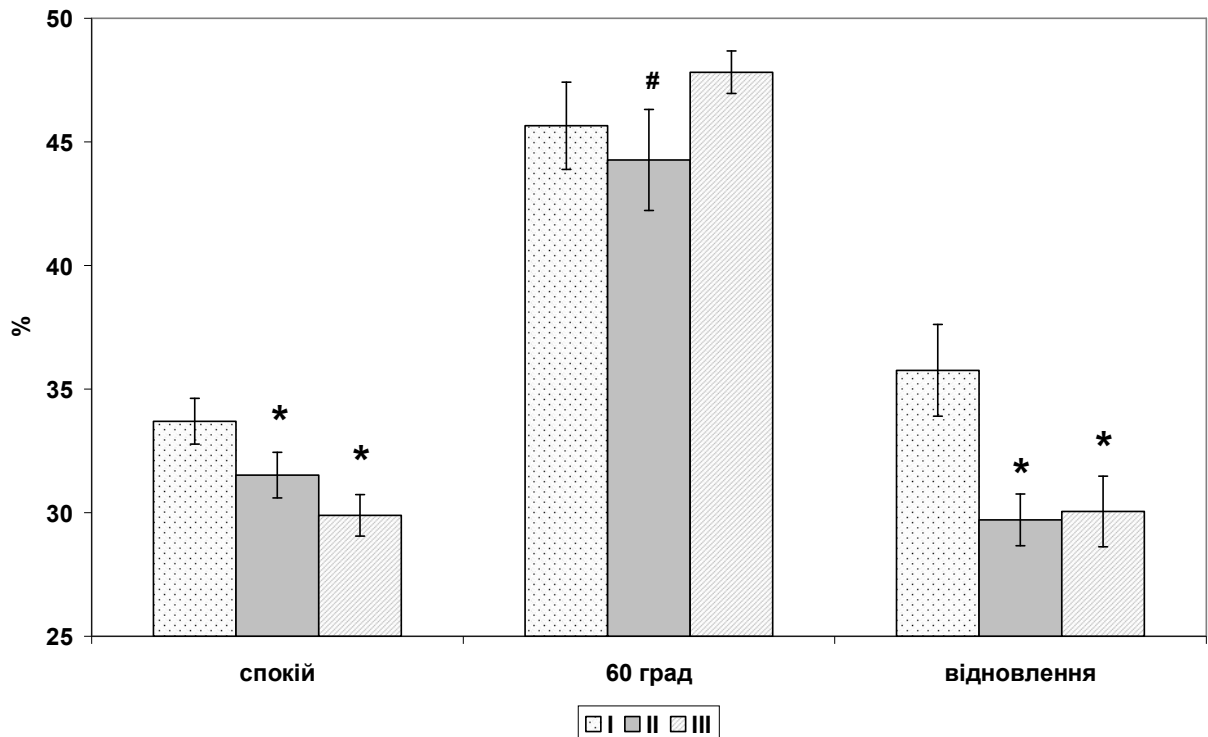


Рис. 3.3. Рівні індексу напруження міокарду в симпато- (I), нормо- (II) та парасимпатотоніків (III) за різних умов виконання градуальної пасивної ортопроби. * – $p < 0,05$ порівняно з I; # – $p < 0,05$ порівняно з II

За цих умов різниці між групами за ОШВ нівелювалися. Також нівелювалися міжгрупові різниці за рівнем кровонаповнення органів грудної порожнини.

Отже, вихідний рівень вегетативного тонуусу може суттєво впливати на зміни показників центральної гемодинаміки при градуйованій пасивній ортопробі.

Важливо проаналізувати не тільки рівні показників центральної гемодинаміки в осіб із різним рівнем вегетативного тонуусу, але і їхню реактивність під час проведення пасивної градуальної ортопроби. У таблиці 3.5 представлено зміни показників за кута нахилу 60°.

Таблиця 3.5

Реактивність гемодинамічних показників у положенні пасивної ортопроби 60° в осіб із різним рівнем вихідного вегетативного тонусу

Показники	Групи		
	I	II	III
t-RR, мс	-0,154±0,032	-0,254±0,021*	-0,320±0,043* [#]
АТ _{діаст} , мм рт.ст.	16,92±1,69	15,00±1,59	15,25±1,52
УІ, мл/м2	-17,37±3,09	-13,34±4,08	-25,61±4,27* [#]
СІ, л/м2·хв	-0,916±0,177	-0,393±0,279*	-1,027±0,234
Т _{вигн} , мс	-0,074±0,008	-0,059±0,021	-0,089±0,008 [#]
Т _{напр} , мс	0,024±0,006	0,031±0,006	0,053±0,006* [#]
ІНМ, %	11,93±1,49	12,75±2,04	17,93±0,90* [#]
ОШВ, мл/сек	-63,80±19,14	-47,43±17,58	-95,74±20,63 [#]
КН, у.о.	-3,54±1,58	-0,24±0,85	-3,23±1,23 [#]

Примітка. * – p<0,05 порівняно з I; [#] – p<0,05 порівняно з II

Зафіксовано більше зменшення t-RR у III групі, порівняно з I і II, та у II, порівняно з I. Зниження УІ більш виражене в парасимпатотоніків. Водночас СІ за цих умов не змінювався тільки в парасимпатотоніків, цілком імовірно через менші зрушення кровонаповнення органів грудної клітки. Показники кардіодинаміки найбільшою мірою змінювалися в III групі.

Отже, реактивність показників гемодинаміки за кута нахилу 60° пасивної ортопроби залежить від вихідного рівня вегетативного тонусу, найбільші показники – у парасимпатотоніків.

На початку тесту за кута нахилу 15° найбільш показовими були відмінності в реактивності тривалості фази напруження в групах осіб із різним вихідним рівнем вегетативного тонусу: I – 0,002±0,004 сек, II – 0,011±0,003 сек, III – 0,019±0,005 сек.

Аналіз реактивності показників гемодинаміки в період відновлення після проведення тесту засвідчив парадоксальний ефект зверх відновлення тривалості інтервалу RR в осіб II та III груп, що зумовлене тривалим пригніченням парасимпатичних впливів під час ортопроби (таб. 3.6). Підтверджено висновок про підвищений рівень діастолічного тиску в усіх групах. Виявлено високий розкид реакцій відновлення показників УІ, СІ, ІНМ, ОШВ та КН. З'ясування причин цього явища потребує подальших досліджень.

Таблиця 3.6

**Реактивність гемодинамічних показників у період відновлення
після тесту пасивної градуйованої ортопроби
в осіб із різним рівнем вихідного вегетативного тону**

Показники	Групи		
	I	II	III
t-RR, мс	0,084±0,043	0,11±0,016	0,112±0,025
АТ _{діаст.} , мм рт.ст.	4,62±1,11	3,62±0,74	3,00±1,22
УІ, мл/м ²	0,76±3,66	4,69±3,23	2,16±5,23
СІ, л/м ² ·хв	-0,387±0,204	0,014±0,184*	-0,294±0,209
T _{вигн.} , мс	-0,013±0,012	0,01±0,007*	0,015±0,01*
T _{напр.} , мс	-0,004±0,007	-0,004±0,004	0,007±0,006 [#]
ІНМ, %	0,76±2,44	-1,81±1,05	0,16±1,34
ОШВ, мл/сек	17,19±34,56	20,32±15,47	-6,99±14,01
КН, у.о.	-2,47±1,82	0,71±1,00*	-1,45±1,40

Примітка. * – p<0,05 порівняно з I; [#] – p<0,05 порівняно з II

Висновки до підрозділу

1. У здорових молодих чоловіків із різним вихідним рівнем вегетативного тону зафіксовано відмінності в рівнях артеріального тиску, серцевого викиду, кардіодинаміки, кровонаповнення органів грудної клітки, зокрема тривалості інтервалу RR у спокої лежачи.

2. Доведено, що вихідний рівень вегетативного тонуусу може суттєво впливати на зміни показників центральної гемодинаміки при градуїованій пасивній ортопроби.

3. Реактивність показників гемодинаміки за кута нахилу 60° пасивної ортопроби залежить від вихідного рівня вегетативного тонуусу, найбільші показники – у парасимпатотоніків.

4. На початку тесту за кута нахилу 15° найбільш показовими були відмінності в реактивності тривалості фази напруження в групах осіб із різним вихідним рівнем вегетативного тонуусу: I – $0,002 \pm 0,004$ сек, II – $0,011 \pm 0,003$ сек, III – $0,019 \pm 0,005$ сек.

5. Аналіз реактивності показників гемодинаміки в період відновлення після проведення тесту засвідчив парадоксальний ефект зверх відновлення тривалості інтервалу RR у нормо- та парасимпатотоніків, що може бути зумовлене тривалим пригніченням парасимпатичних впливів під час пасивної ортопроби.

3.1.3. Зміни центральної гемодинаміки в спортсменів при градуальній пасивній ортопроби

Схарактеризовано фонові рівні показників центральної гемодинаміки в обстежуваних групах (табл. 3.7). Спортсмени мали вірогідно вищий рівень тривалості інтервалу RR, УІ, ОШВ та кровонаповнення, порівняно з неспортсменами.

Виконання різних рівнів пасивної ортопроби призводило до зниження т-RR, пропорційного до кута нахилу тулуба як у спортсменів, так і в неспортсменів (рис. 3.4). Міжгрупові відмінності зберігалися майже в усіх умовах, за винятком вимірів на 20-й хвилині перебування в положенні 60° . Варте уваги швидке відновлення та навіть супервідновлення цього показника після повернення у вихідне горизонтальне положення.

Рівні показників центральної гемодинаміки в спортсменів високого класу (n=17) та в молодих здорових чоловіків (n=17) у стані спокою лежачи

Показники	Спортсмени	Неспортсмени
t-RR, мс	1,008±0,033	0,915±0,039*
АТ _{діаст} , мм рт,ст,	76,18±1,18	77,35±1,87
УІ, мл/м ²	42,73±3,86	33,93±3,72*
СІ, л/м ² ·хв	2,63±0,27	2,24±0,32
Т _{вигн} , мс	0,267±0,011	0,271±0,006
Т _{напр} , мс	0,125±0,005	0,124±0,004
ІНМ, %	32,09±1,26	31,47±0,98
ОШВ, мл/сек	282,83±27,63	219,10±32,74*
КН, у.о.	33,02±2,16	26,89±2,48*

Примітка, * – p<0,05 між групами

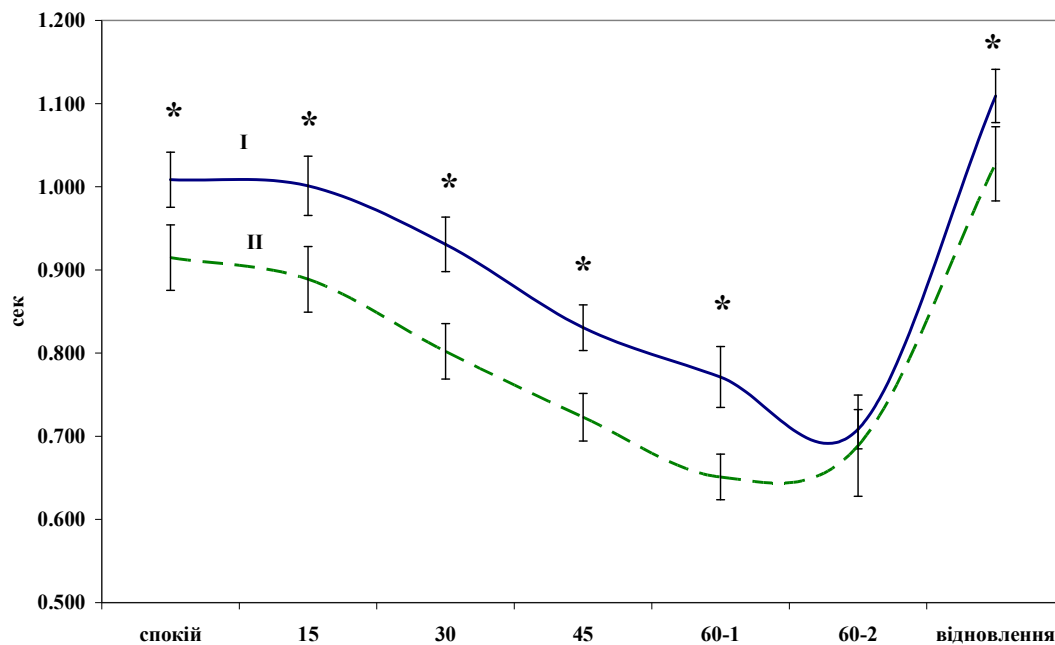


Рис. 3.4. Тривалість інтервалу RR на різних етапах проведення градуйованої пасивної ортопроби в спортсменів високого класу (I, n=17) та в молодих здорових чоловіків (II, n=17). * – p<0,05

У рівнях діастолічного артеріального тиску в спортсменів та неспортсменів майже на всіх етапах проведення тесту відмінностей не виявлено, за винятком умов 60°-2 (відповідно $95,00 \pm 1,21$ та $90,29 \pm 2,16$ мм рт. ст., $p < 0,01$). Водночас аналіз реактивності цього показника впродовж проби (рис. 3.5) засвідчив вірогідно більше підвищення в спортсменів на початку перебування в положенні 60° та подальше збільшення через 20 хвилин.

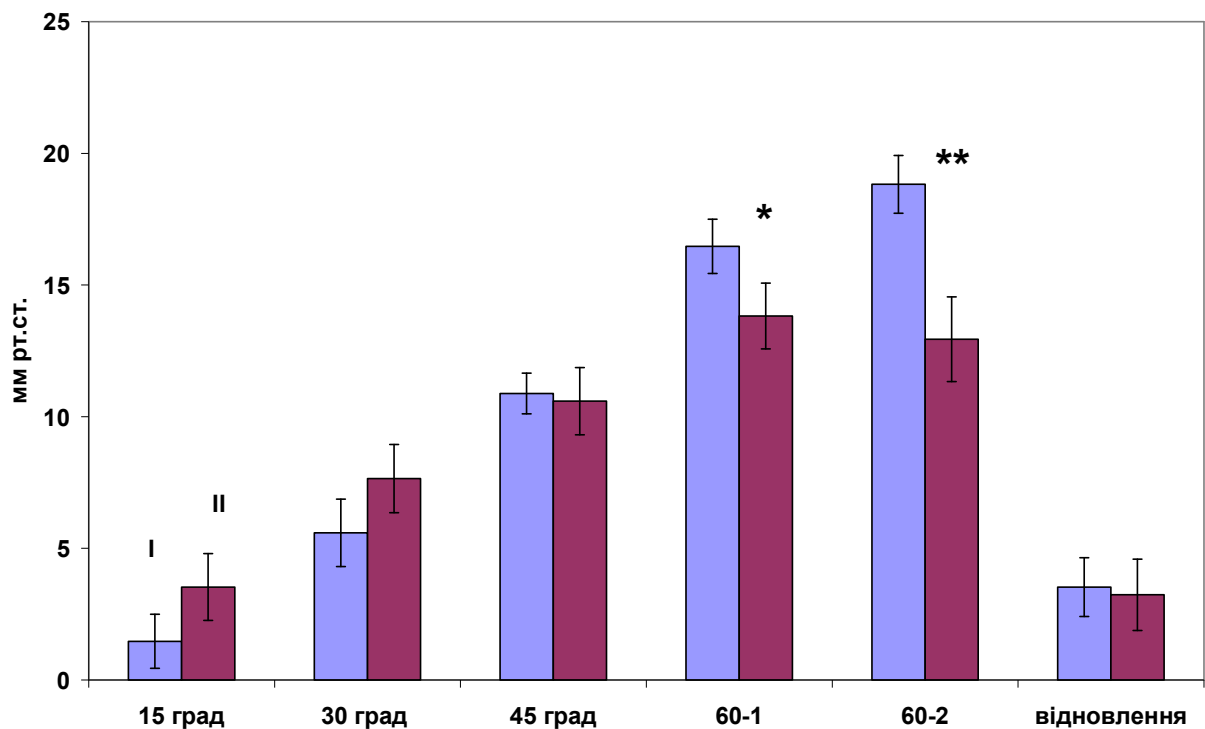


Рис. 3.5. Реактивність діастолічного артеріального тиску при пасивній градуальній ортопробі в спортсменів високого класу (I, n=17) та в молодих здорових чоловіків (II, n=17). * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ між групами

Аналіз змін показників серцевого викиду під час проведення градуйованої пасивної ортопроби довів, що відмінності у вимірюваних групах за УІ зберігаються на всіх етапах до положення 60°-2 та відновлення після завершення тесту. Для СІ таких відмінностей не виявлено.

Зміни кардіодинаміки впродовж тесту мали свої особливості. Відмінності між I та II групами за тривалістю фази вигнання констатовані на 30° та 45°, для тривалості фази напруження та ІНМ – на 30°. Утім, за нахилу

на 60° та в період відновлення такі відмінності нівелюються. Це може засвідчувати різний рівень пристосування вже на цих кутах нахилу чи наявність суттєвих індивідуальних особливостей.

Така закономірність характерна і для показника ОШВ. Відмінності між групами зникають в умовах 60°-2 та в період після повернення у вихідне горизонтальне положення. Для кровонаповнення органів грудної порожнини відмінності між групами зберігаються на всіх етапах тесту.

Як продемонстровано вище, найбільш суттєві зміни центральної гемодинаміки під час проведення проби зареєстровані на 20-й хвилині перебування вимірюваних у положенні 60°. Виконано докладний аналіз реактивності всіх показників у цих умовах (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Реактивність показників центральної гемодинаміки в спортсменів та неспортсменів на 20-й хвилині перебування в положенні 60°

Показники	Спортсмени	Неспортсмени
t-RR, мс	-0,300±0,027	-0,226±0,043*
АТ _{діаст} , мм рт,ст,	18,82±1,10	12,94±1,61***
УІ, мл/м ²	-21,77±3,49	-13,16±3,86*
СІ, л/м ² ·хв	-0,89±0,21	-0,36±0,32*
Т _{вигн} , мс	-0,088±0,009	-0,085±0,009
Т _{напр} , мс	0,035±0,009	0,032±0,011
ІНМ, %	14,56±1,45	13,65±2,90
ОШВ, мл/сек	-89,9±19,8	-40,6±24,7*
КН, у.о.	-3,71±2,37	-1,14±1,39

Примітка, * – p<0,05; *** – p<0,001 між групами

Спортсмени мали більше зниження t-RR, УІ, СІ, ОШВ та підвищення АТ_{діаст}, ніж неспортсмени. Такі зміни дають підстави говорити про більше напруження серцево-судинної системи. У неспортсменів зміни гемодинаміки прогностично більш позитивні. Парадоксальну ситуацію, на наш погляд,

можна пояснити, по-перше, більшим включенням скорочення м'язів нижніх кінцівок у спортсменів (виключенням їх скорочення при пасивному ортостазі) для повернення крові до серця в спортсменів. Друга можлива причина – більше задіяння гетерометричних механізмів регуляції серцевого викиду в спортсменів. У разі обмеження надходження крові до серця внаслідок її застою це створює в нижніх кінцівках більш несприятливі умови для осіб, що регулярно виконують спортивні фізичні вправи.

Важливо проаналізувати реактивність відновлення показників гемодинаміки після проведення пасивної градуальної ортопроби (табл. 3.9). Парадоксальною є більш висока реактивність УІ, СІ, ОШВ у неспортсменів. Показники кардіодинаміки в них відновлювалися меншою мірою, ніж у спортсменів.

Таблиця 3.9

**Реактивність показників центральної гемодинаміки
в спортсменів та неспортсменів у період відновлення
після градуальної пасивної ортопроби**

Показники	Спортсмени	Неспортсмени
t-RR, мс	0,101±0,023	0,113±0,032
АТ _{діаст} , мм рт,ст,	3,53±1,12	3,24±1,35
УІ, мл/м ²	-1,24±2,01	10,91±6,70**
СІ, л/м ² ·хв	-0,29±0,14	0,38±0,36**
Т _{вигн} , мс	-0,004±0,007	-0,012±0,015
Т _{напр} , мс	-0,006±0,004	0,008±0,010*
ІНМ, %	-0,72±0,85	3,29±3,14*
ОШВ, мл/сек	-2,6±10,1	21,6±24,1
КН, у.о.	0,49±1,39	0,46±1,49

Примітка, * – p<0,05; ** – p<0,01 між групами

Висновки до підрозділу

1. Зафіксовано, що фонові відмінності в тривалості інтервалу RR, ударного об'єму крові між спортсменами та неспортсменами нівелюються в

разі тривалого перебування в положенні 60° . Для діастолічного артеріального тиску такі відмінності стають вірогідними з більшими значеннями в спортсменів.

2. Для показників кардіодинаміки відмінності між групами з'являються в разі навантаження 30° - 40° та нівелюються на наступних етапах тесту.

3. Аналіз реактивності показників гемодинаміки на 20-й хвилині перебування вимірюваних у положенні 60° засвідчив, що такі спортсмени мали більше зниження тривалості інтервалу RR, ударного та серцевого індексу, об'ємної швидкості викиду й підвищення $AT_{\text{діаст}}$, ніж неспортсмени. Такі зміни засвідчують більше напруження серцево-судинної системи.

4. Після повернення вимірюваних у горизонтальне положення в неспортсменів зареєстрована більш висока реактивність ударного та серцевого індексу, об'ємної швидкості викиду, ніж у спортсменів. Поряд із цим показники кардіодинаміки в них відновлювалися меншою мірою, ніж у спортсменів.

3.2. Індивідуальні особливості рівня та змін варіабельності серцевого ритму при градуйованій пасивній ортопробі

3.2.1. Зміни часових показників варіабельності серцевого тиску при тілт-тесті

Вихідний рівень часових показників ВСР відповідав нормам для осіб молодого віку (табл. 3.10). Після переходу в положення 15° не виявлено змін жодного показника. Починаючи з рівня 30°, відбувалося вірогідне зменшення SDNN, rMSSD, pNN₅₀, пропорційне до кута нахилу, а з навантаження 45° – збільшення ІН. Максимум реактивності був досягнутий для SDNN, rMSSD, pNN₅₀ уже на 5-й хвилині в положенні 60° та залишався сталим упродовж перебування в ньому 20 хвилин. Водночас ІН збільшувався, що слугує доказом пригнічення парасимпатичних і посилення симпатичних впливів на ритмогенез серця.

Таблиця 3.10

**Рівні часових показників ВСР
при градуйованій пасивній ортопробі в чоловіків (n=76)**

Умови	Показники				
	ІН, 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 порівняно з рівнем спокою

Наукове зацікавлення становить динаміка часових показників ВСР у період повернення до вихідного положення лежачи, після проведення градуйованої пасивної ортопроби. Простежуваний вияв феномену зверхвідновлення для всіх показників. Для $rMSSD$ та pNN_{50} амплітуда відновлення відповідала амплітуді реакцій зменшення цих показників за навантаження 60° (відповідно $51,42 \pm 5,99$ і $-51,38 \pm 7,23$ мс для $rMSSD$ та $18,50 \pm 2,14$ і $-25,51 \pm 2,64$ мс для pNN_{50}). Водночас збільшення $SDNN$ у процесі відновлення суттєво переважало його зменшення на 60° (відповідно $33,61 \pm 3,85$ і $-16,35$ мс, $p < 0,01$). Цілком можливо, що зміни показника відображають зрушення активності не тільки парасимпатичної ланки автономної нервової системи, але й симпатичного відділу, наявність перехідних процесів у частоті серцевих скорочень.

Порівняння реакцій часових показників на пробу засвідчило їхню варіативність, що може бути зумовлене індивідуальними особливостями. Проаналізовано особливості змін ВСР, залежно від рівня ваго-симпатичної рівноваги. Згідно з методом сигнальних відхилень показника HF_{norm} , виокремлено три групи: симпатотоніки (I), нормотоніки (II), парасмпатотоніки (III). Закономірно, що в спокої лежачи перед початком проби всі показники ВСР мали високо достовірні відмінності, оскільки певною мірою відображають рівні активності симпатичної та парасимпатичної ланок автономної нервової системи [1].

Динаміку змін ІН упродовж проби схарактеризовано на рис. 3.6. У симпатотоніків вірогідні зміни цього показника відбувалися тільки на 20-й хвилині положення 60° , у нормотоніків – збільшення ІН починалося з 45° , а в парасимпатотоніків – із 30° . За максимальних градацій проби відмінності в рівнях ІН між I і II, II та III нівелювалися, а між I і III зберігалися.

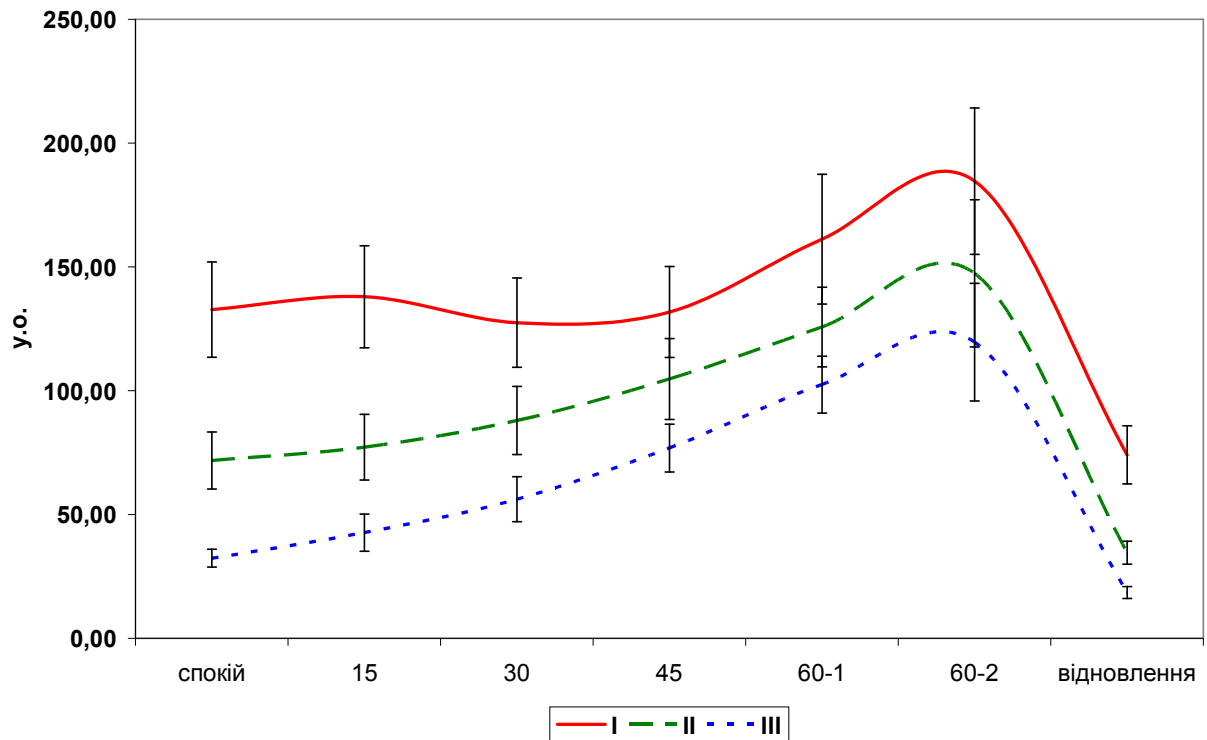


Рис. 3.6. Динаміка індексу напруження впродовж виконання пасивної градуальної ортопроби в симпатотоніків (I), нормотоніків (II) та парасимпатотоніків (III)

Зміни SDNN у різних групах за вихідним рівнем вегетативного тону при пробі також мали свої особливості (рис. 3.7). У симпатотоніків цей показник вірогідно не змінювався, у нормотоніків зменшувався тільки на 5-й хвилині в положенні 60°, а в парасимпатотоніків – починаючи з положення 30°. Міжгрупові відмінності за цим показником повністю нівелювалися на 5-й хвилині в положенні 60°, а між II та III – із 45°. Зниження rMSSD при пробі відбувалося в усіх групах, найбільшою мірою – у III.

Отже, градуальна пасивна ортопроба призводила до зменшення варіабельності серцевого ритму, що був більш виражений у парасимпатотоніків, через більше пригнічення тону парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

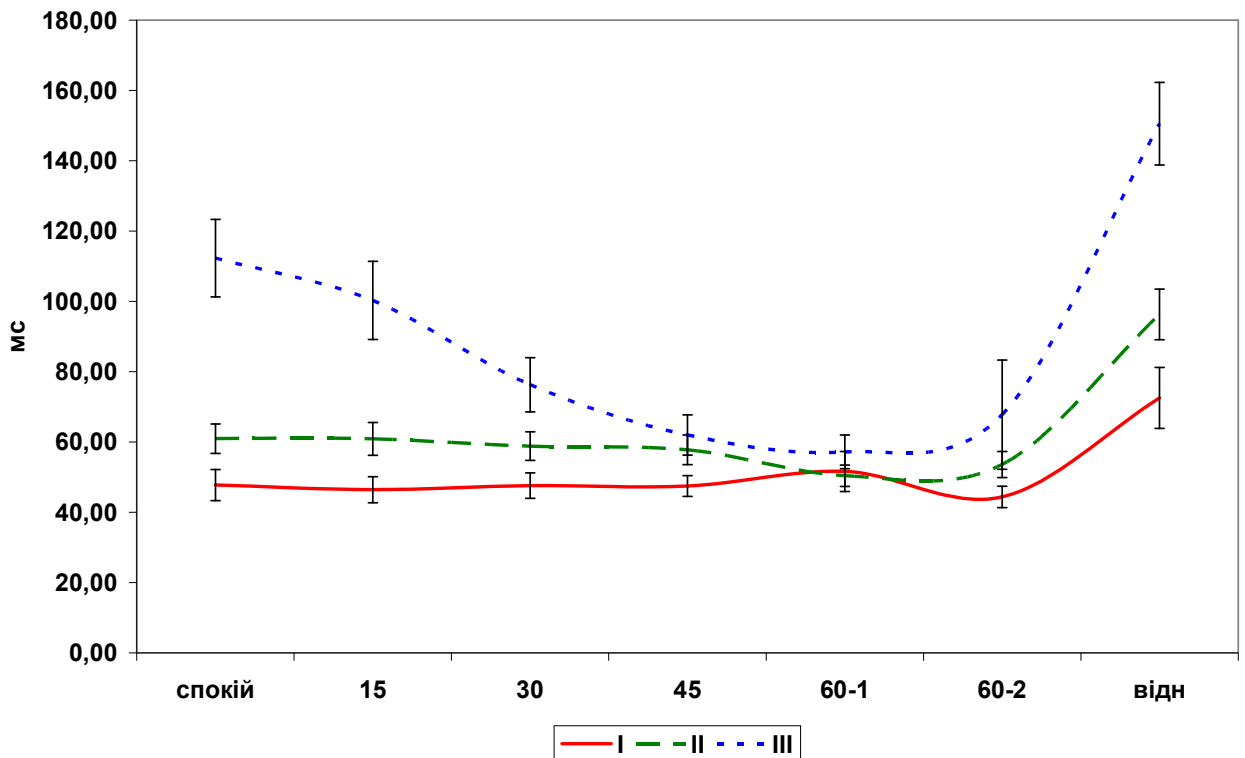


Рис. 3.7. Динаміка SDNN упродовж виконання пасивної градуальної ортопроби

в симпатотоніків (I), нормотоніків (II) та парасимпатотоніків (III)

У період відновлення після завершення проби й повернення в горизонтальне положення зафіксовано суттєві відмінності в реактивності показників ВСР, залежно від вихідного тону ВНС. Найбільшими вони були за $rMSSD$. Реактивність між рівнями на 60° і відновленням за цим показником становила в групах: 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 в спортсменів і неспортсменів довело наявність відмінностей переважно за ІІ (рис. 3.8). В усіх умовах ІІ у спортсменів був нижчим, реактивність меншою, ніж у неспортсменів. У неспортсменів уже на рівні 15° проявляється зниження $rMSSD$.

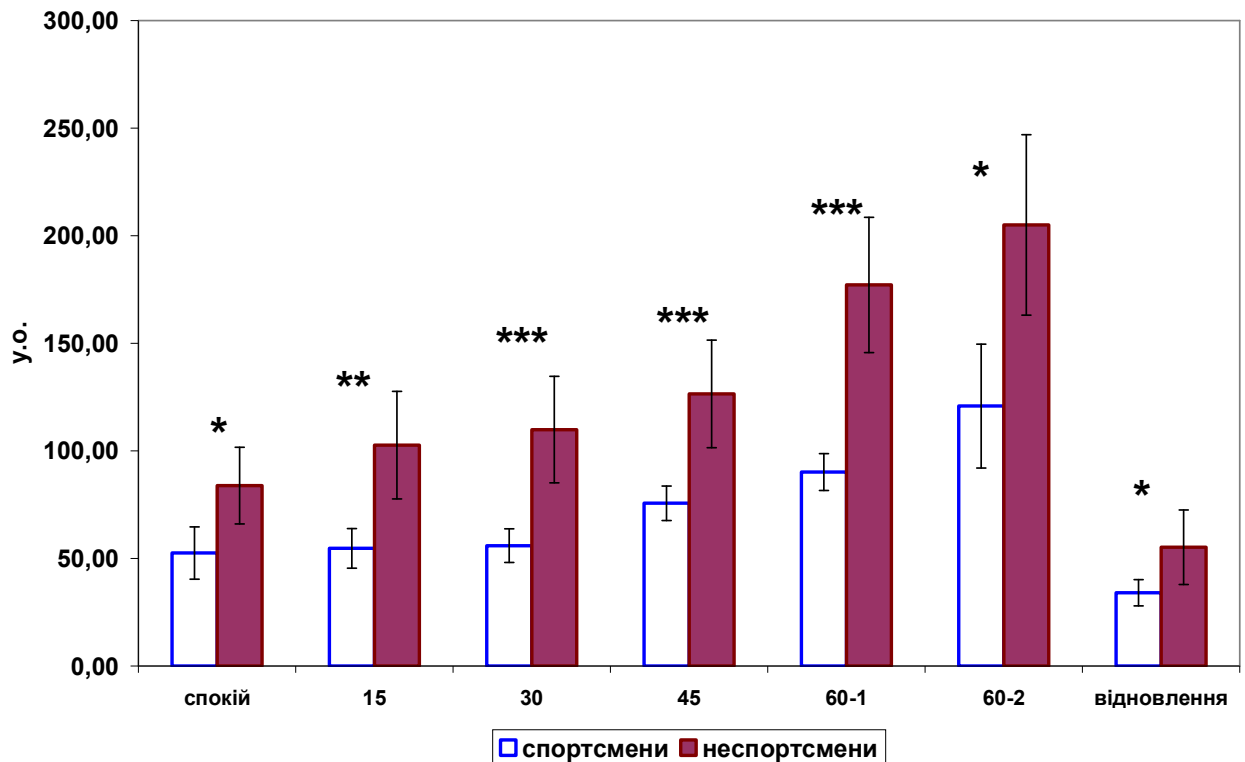


Рис. 3.8. Динаміка індексу напруження впродовж виконання пасивної градуальної ортопроби в спортсменів та неспортсменів.

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

Отже, регулярні фізичні навантаження впливають переважно на рівень функціонального стану при пробі, а не на особливості ВСР.

Висновки до підрозділу

1. При пасивній ортопробі, починаючи з рівня 30° , відбувалося вірогідне зменшення SDNN, rMSSD, pNN₅₀, пропорційне до кута 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 доказом пригнічення парасимпатичних і посилення симпатичних впливів на ритмогенез серця.

2. Після завершення проби й переходу до вихідного горизонтального положення простежуваний феномен зверхвідновлення для всіх часових показників варіабельності серцевого ритму.

3. Виконання градуальної пасивної ортопроби призводило до зменшення варіабельності серцевого ритму, що більш виражений у парасимпатотоніків, через більше пригнічення тону парасимпатичної ланки автономної нервової системи.

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

3.2.2. Динаміка хвильової структури серцевого ритму впродовж пасивної градуальної ортопроби

Показники спектрального аналізу коливань інтервалу R-R є прогностичними для оцінювання стану регуляції серцево-судинної системи [5]. Проаналізовано зміни впродовж виконання градуальної пасивної ортопроби.

Зміни загальної потужності в спектрах коливань t-R-R залежали від кута нахилу тіла людини. Цей показник пропорційно знижувався від 15° до 60°, стабілізуючись із 5-ї до 20-ї хвилини цього положення (рис. 3.9).

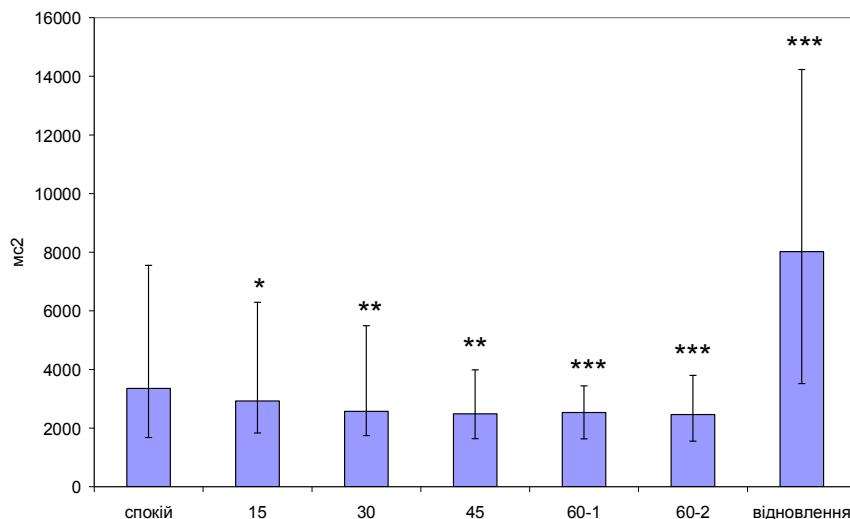


Рис. 3.9. Загальна потужність спектрограми R-R-інтервалів під час проведення градуальної пасивної ортопроби (Медіана, межі 25 та 75 перцентилів, n=76).

* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ порівняно з рівнем у спокої

Після припинення проби та повернення у вихідне положення ТР суттєво збільшувалася (на 3863 [1230; 7912] мс, $p < 0,001$). Збільшення ТР є позитивним прогностичним показником (за відсутності патологічних аритмій) для стану серця. Можливими механізмами після тілт-тесту може бути збільшення впливу вагуса на сино-атріальний вузол.

Зміни VLF упродовж тесту не були статистично значущими, тільки в період відновлення зафіксовано збільшення, що, очевидно, зумовлені зростанням загальної потужності спектру коливань за механізмом, описаним вище.

Статистично значущими щодо фонового рівня зміни LF під час виконання тесту були тільки на 20-й хвилині в положенні 60° (відповідно 819 [531; 1556] мс^2 і 1274 [794; 1839] мс^2 , $p < 0,01$) та в період відновлення (1355 [795; 2866] мс^2 , $p < 0,01$). За однакового зрушення показника (збільшення) в обох випадках імовірні механізми будуть різними: збільшення тону симпатичної ланки вегетативної нервової системи в положенні 60° та збільшення парасимпатичних впливів, як наслідок збільшення коливань т-R-R під час відновлення.

Водночас збільшення тонічних впливів симпатичної ланки вегетативної нервової системи впродовж тесту виявлено на градаціях $45^\circ - 60^\circ$ за потужністю максимального піку спектрограми т-R-R (рис. 3.10). Це підтверджене зменшенням частоти максимального піку спектрограми т-R-R від 0,095 [0,071; 0,119] Гц у спокої лежачи до 0,081 [0,062; 0,092] Гц ($p < 0,01$) у позиції 45° , до 0,081 [0,066; 0,092] Гц на 5-й хвилині положення 60° ($p < 0,001$), до 0,080 [0,067; 0,094] Гц на 20-й хвилині положення 60° ($p < 0,01$).

Отже, за динамікою спектральних показників у діапазоні низьких частот серцевого ритму при градуйованій пасивній ортопробі відбувається збільшення тону симпатичної ланки вегетативної нервової системи на кутах нахилу тіла 45° та 60° .

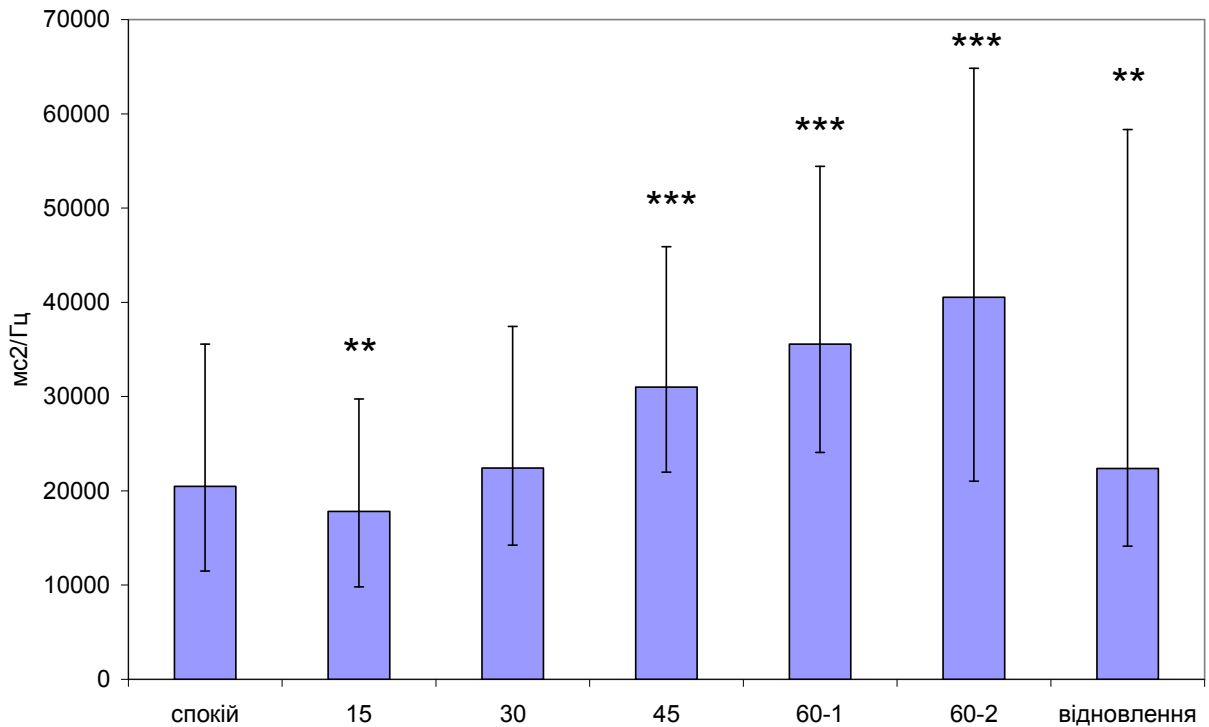


Рис. 3.10. Амплітуда максимального піку спектрограми R-R-інтервалів під час проведення градуальної пасивної ортопроби (Медіана, межі 25 та 75 перцентилів, $n=76$). ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$ порівняно з рівнем у спокої

Потужність спектру коливань у діапазоні високих частот серцевого ритму при всіх градаціях тесту знижувалася пропорційно до кута нахилу тулуба (табл. 3.10). У разі відновлення цей показник суттєво збільшувався.

Показник нормалізованого відношення потужності в діапазоні низьких частот до потужності в діапазоні високих частот є таким, що відображає вагосимпатичну взаємодію на роботу серця [163]. Аналіз реактивності HF_{norm} засвідчує наростання впливу симпатичної ланки вегетативної нервової системи, що пропорційне до кута нахилу тіла людини та зверхвідновлення парасимпатичних впливів у разі повернення до горизонтального положення (рис. 3.11).

**Потужність спектру коливань тривалості інтервалу R-R у діапазоні
0,04-0,15 Гц упродовж пасивної градуальної ортопроби**

Показники	HF, мс^2	P	Реактивність
спокій	835 [392; 2833]		
15°	641 [291; 2085]	p<0,001	-114 [-740; 15]
30°	418 [229; 1165]	p<0,001	-227 [-1358; -24]
45°	304 [179; 513]	p<0,001	-546 [-2178; -67]
60°-1	227 [115; 355]	p<0,001	-651 [-2405; -147]
60°-2	204 [109; 335]	p<0,001	-637 [-2415; -157]
відновлення	3340 [823; 10427]	p<0,001	1982 [318; 4896]

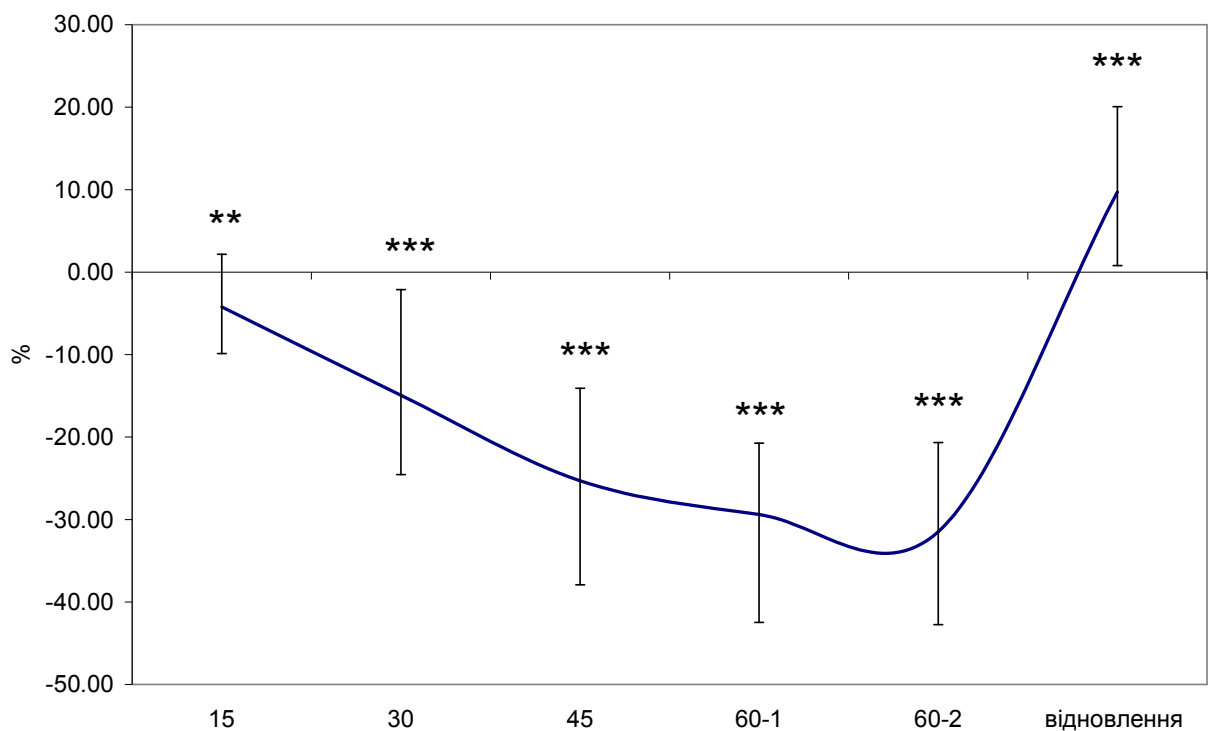


Рис. 3.11. Реактивність HF_{norm} під час проведення градуальної пасивної ортопроби (Медіана, межі 25 та 75 перцентилів, n=76).

**** – p<0,01; *** – p<0,001 порівняно з рівнем у спокої**

3.2.3. Особливості рівня та змін показників спектрального аналізу ВСР при пасивній ортопробі в осіб із різним вихідним рівнем вегетативного тону

Зафіксовано показники спектрального аналізу ВСР за значеннями в стані спокою лежачи, залежно від рівня вегетативного тону, оцінюваного за HF_{norm} (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Показники спектрального аналізу ВСР у стані спокою в осіб із різним рівнем вегетативного тону

Показники	Групи		
	I	II	III
VLF, mc^2	859 [407; 1657]	963 [586; 1869]	1180 [656; 2711]
LF, mc^2	713 [315; 1043]	804 [546; 2018]	1329* [866; 2002]
aLF, $mc^2 \cdot Гц^{-1}$	15744 [7581; 32252]	23330 [11699; 35541]	29849 [14779; 37280]
tLF, Гц	0,094 [0,059; 0,111]	0,087 [0,072; 0,112]	0,119* [#] [0,095; 0,141]
HF, mc^2	327 [124; 663]	764* [470; 2346]	5998* [#] [2519; 15614]
TP, mc^2	2024 [820; 3337]	2828* [1896; 6005]	8950* [#] [4615; 17852]

Примітка. * – $p < 0,05$ порівняно з I; [#] – $p < 0,05$ порівняно II з III

Потужність спектру коливань т-R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц була вірогідно вищою в парасимпатотоніків, порівняно з нормотоніками. Також у цій групі були вищими tLF, HF та TP щодо I і II груп. Нормотоніки мали вищу потужність коливань т-R-R у діапазоні 0,15-0,4 Гц та загальну потужність спектру, ніж симпатотоніки.

Отже, відмінності в спектральних складниках ВСР в осіб із різним вегетативним тонусом у стані спокою лежачи зумовлені більшою потужністю коливань, що спричинені активністю впливу вагуса на сино-атріальний вузол серця.

Це підтверджене динамікою показника VLF упродовж проби. Зокрема, VLF в осіб III групи був вищим, ніж в осіб I на 30°, 45° та 5-й хвилині перебування в положенні 60°. Порівняно з II групою, у парасимпатотоніків цей показник був вищий тільки на 5-й хвилині перебування в положенні 60°.

Для показника потужності спектру ВСР у діапазоні 0,04-0,15 Гц статистично вірогідні ($p < 0,01$) відмінності отримано між його рівнями в III та I групах у спокої лежачи (відповідно 713 [315; 1043] мс^2 і 1329 [866; 2002] мс^2) та в період відновлення (відповідно 983 [576; 1973] мс^2 і 1954 [1016; 4223] мс^2).

Реактивність амплітуди максимального піку коливань т-R-R у цьому діапазоні була вірогідно вищою (зниження) у парасимпатотоніків, порівняно з симпатотоніками на 15°, що цілком імовірно зумовлене більш високим значенням цього показника в спокої лежачи.

Для динаміки показника tLF характерна більш висока реактивність (зниження) під час виконання пасивної ортопроби в осіб III групи щодо II ($p < 0,01$) і I груп ($p < 0,001$). Зокрема, на 5-й хвилині в положенні 60° для симпатотоніків вона становила -0,003 [-0,012; 0,017] Гц, для нормотоніків – -0,008 [-0,012; 0,017] Гц, а для парасимпатотоніків – -0,036 [-0,073; -0,008] Гц.

Найбільш вираженими й залежними від вихідного рівня вегетативного тону були зрушення під час пасивної ортопроби за потужністю коливань т-R-R у діапазоні 0,015-0,4 Гц (табл. 3.12). Реактивність цього показника в II групі була вищою (зниження) у II групі, порівняно з I на 45°, 5-й та 20-й хвилинах 60°. У III групі амплітуда зменшення HF на всіх градаціях проби була більшою, ніж у II і I групах. У період відновлення відбувалося парадоксальне збільшення HF у нормо- та парасимпатотоніків.

Унаслідок змін потужності коливань т-R-R у різних частотних діапазонах реєстрували зміни нормалізованої потужності спектру коливань у частотному діапазоні 0,15-0,4 Гц осіб різних груп. Зниження HF було пропорційним до його вихідного рівня: більшим у III групі, найменшим у I групі. Високий рівень зв'язку між вихідним рівнем HF_{norm} та реактивністю HF зафіксовано на градаціях проби 45° ($\rho=-0,757$, $p<0,001$), 5-й ($\rho=-0,789$, $p<0,001$) та 20-й ($\rho=-0,799$, $p<0,001$) хв на 60°.

Таблиця 3.12

**Реактивність потужності коливань т-R-R у діапазоні 0,015-0,4 Гц
при градуальній пасивній ортопробі
в чоловіків із різним вихідним рівнем вегетативного тону**

Умови	Групи		
	I	II	III
15°	-28 [-149; 10]	-100 [-568; 186]	-1017*# [-4825; -414]
30°	-60 [-140; 39]	-176 [-762; -17]	-4098*# [-12520; -1351]
45°	-72 [-305; -14]	-354* [-1489; -101]	-5533*# [-15099; -1941]
60°-1	-125 [-438; -13]	-643* [-1656; -214]	-5794*# [-15377; -1945]
60°-2	-148 [-481; -28]	-643* [-1792; -259]	-5864*# [-15430; -1979]
відновлення	332 [44; 1743]	2325* [960; 3514]	4994* [1741; 10143]

Примітка. * – $p<0,05$ порівняно з I; # – $p<0,05$ порівняно II з III

Виявлено нівелювання відмінностей HF_{norm} між групами на 5-й та 20-й хвилинах положення 60° (рис. 3.12), залишалася тільки вірогідна різниця в рівнях I та II групи. Це стало наслідком більшого зниження показника в осіб із більш вираженим парасимпатичним тонусом у стані спокою. Коефіцієнти

кореляції Спірмена між вихідним рівнем HF_{norm} та його реактивністю на різних градаціях проби були вірогідними, засвідчували майже функціональний зв'язок на 5-й ($\rho=-0,880$, $p<0,001$) та 20-й ($\rho=-0,903$, $p<0,001$) хвилинах положення 60° .

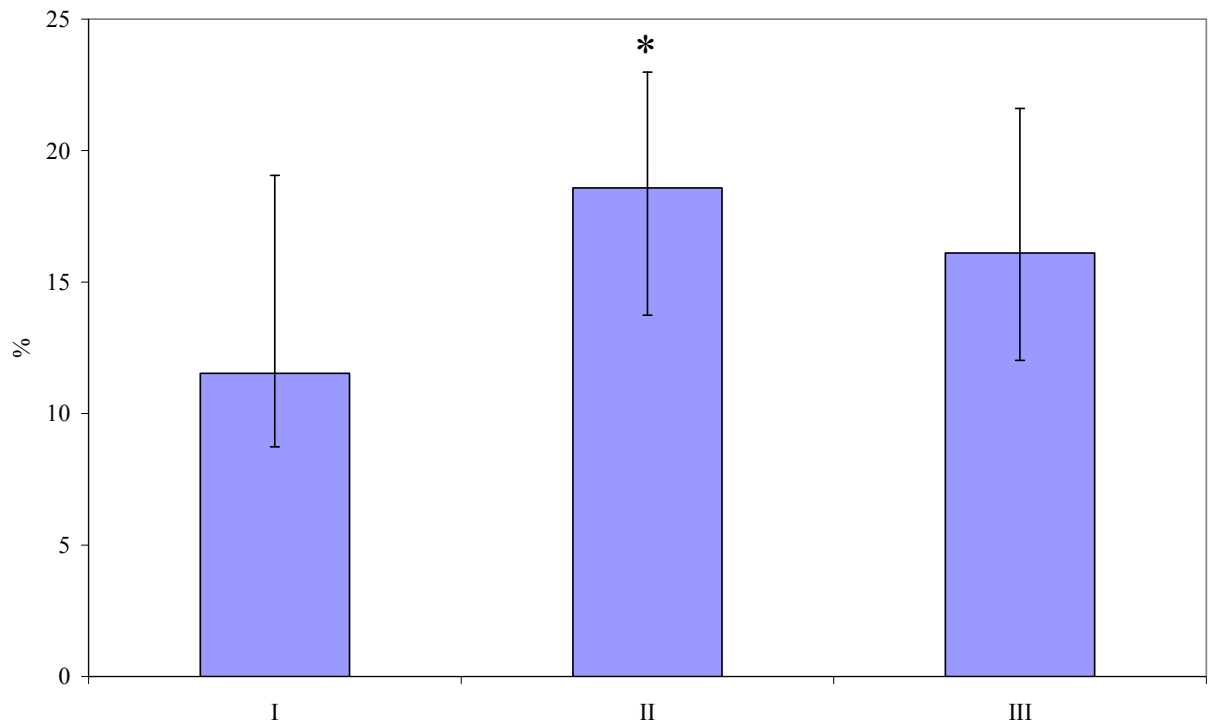


Рис. 3.12. . Рівні HF_{norm} на 20-й хвилині положення 60° градусів

Подібно нівелювалася різниця між рівнями загальної потужності спектру ВСР на куті нахилу 60° між представниками різних груп, а між його рівнями в II і III, I та II групах, на 30° та 45° . Зв'язок цього показника з вихідним рівнем HF_{norm} на градаціях від 30° до 60° за коефіцієнтом кореляції Спірмена був у межах від $-0,494$ до $-0,619$ ($p<0,001$).

Отже, зміни показників хвильової структури серцевого ритму при градуальній пасивній ортопробі в чоловіків залежали від вихідного рівня вегетативної рівноваги в стані спокою, відбувалися переважно через пригнічення тону парасимпатичної ланки вегетативної нервової системи.

3.2.4. Особливості хвильової структури ВСР під час проведення градуальної пасивної ортопроби в спортсменів

У стані спокою лежачи показники спектрального аналізу ВСР у спортсменів та неспортсменів переважно не відрізнялися. Вірогідною була відмінність у частоті максимального піку в діапазоні низьких частот серцевого ритму: у I групі він розташований на більш високій частоті, ніж у II (відповідно 0,109 [0,091; 0,131] Гц та 0,087 [0,063; 0,100] Гц, $p < 0,05$).

Під час проведення тесту статистично достовірних міжгрупових змін як за рівнями, так і за реактивністю VLF не виявлено. Суттєвими були особливості реагування коливань т-R-R у спортсменів на зміни положення тіла в діапазоні 0,04-0,15 Гц. Зокрема, LF на 5-й хвилині 60° у I групі була вищою за рівень неспортсменів (рис. 3.13).

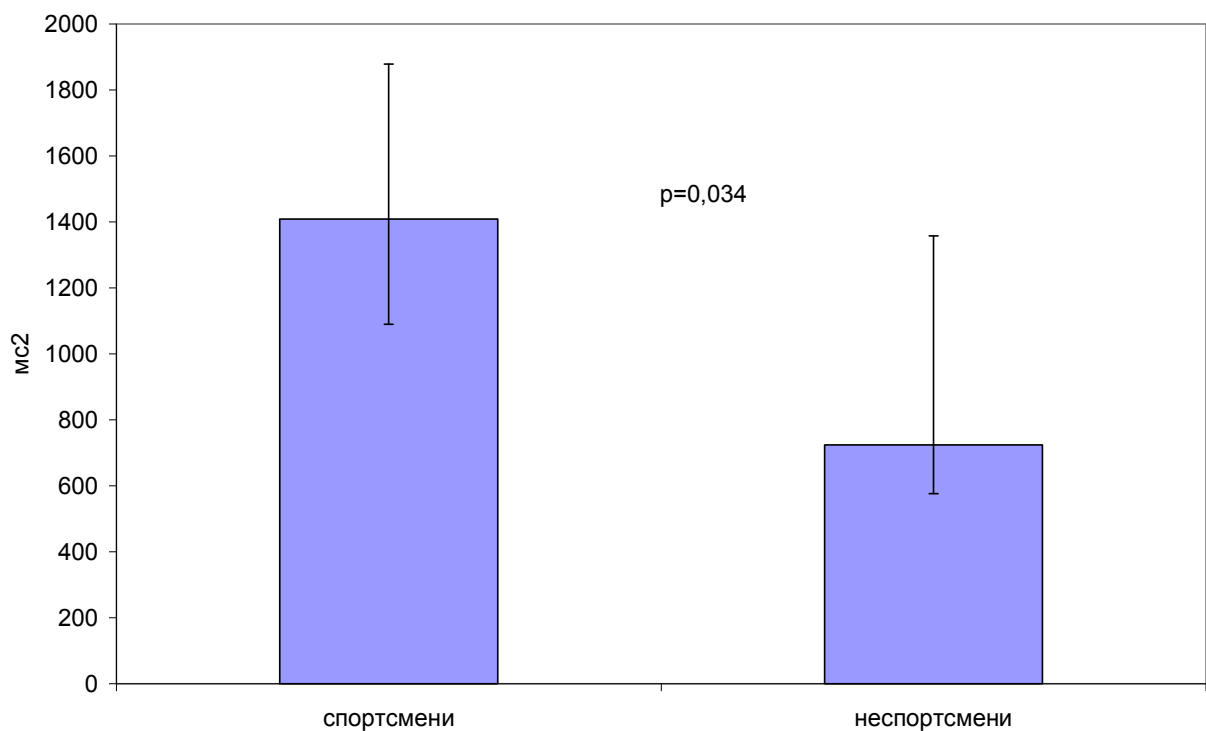


Рис 3.13. Потужність коливань т-R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц на 5-й хвилині в положенні 60° при пасивній градуальній ортопробі в спортсменів та неспортсменів

Згідно зі спектральною щільністю максимального піку спектрограми в діапазоні низьких частот серцевого ритму, спортсмени також мали вищий

показник, ніж неспортсмени (відповідно 45729 [35069; 55835] $\text{мс}^2 \cdot \text{Гц}^{-1}$ та 27591 [21003; 41945] $\text{мс}^2 \cdot \text{Гц}^{-1}$, $p < 0,05$). У спортсменів констатовано більшу амплітуду змін (зниження) частоти максимального піку спектрограми т-R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц, порівняно з неспортсменами, за кута нахилу 30° та на 5-й хвилині 60° (рис. 3.14).

TLF

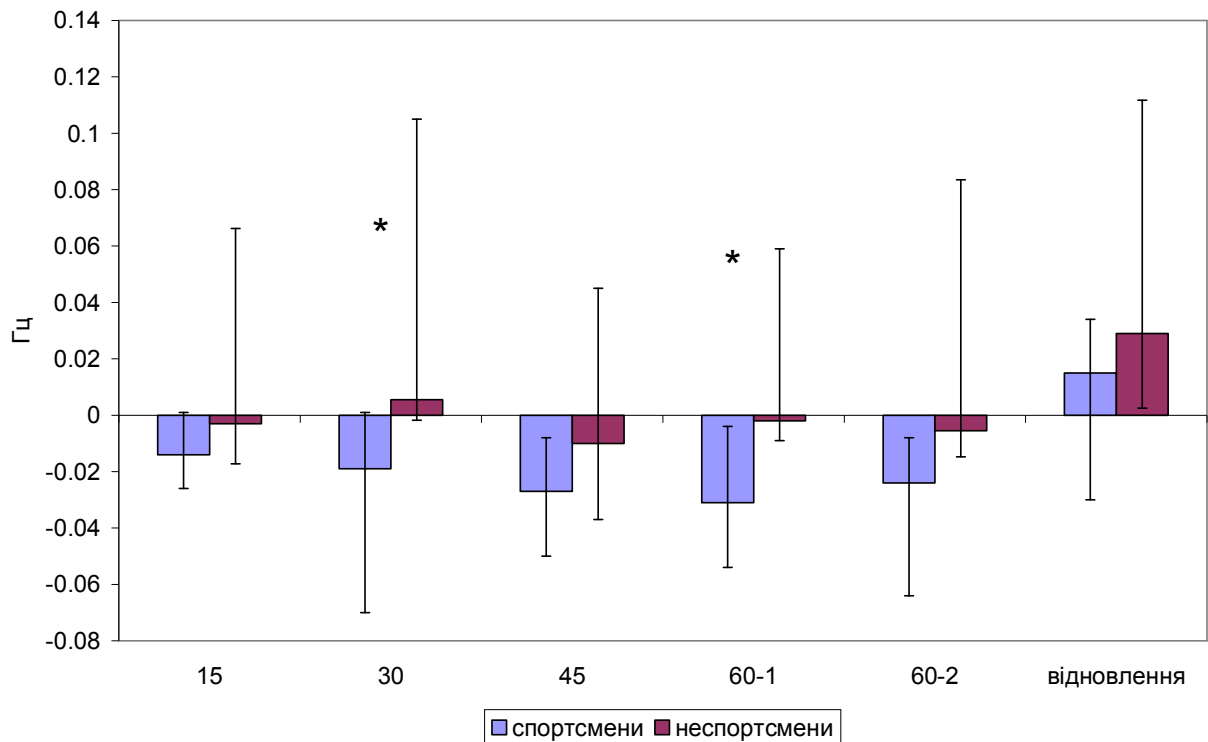


Рис 3.14. Реактивність частоти максимального піку спектрограми т-R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц при пасивній градуальній ортопробі в спортсменів та неспортсменів.

* – $p < 0,05$ між групами за U-критерієм Краскела – Уолеса

Як рівні, так і реактивність потужності спектру коливань т-R-R у діапазоні 0,15-0,4 Гц при пробі переважно не відрізнялися. Винятком є менша реактивність цього показника в спортсменів, ніж у неспортсменів за 15° (відповідно 193 [-533; 712] мс^2 та -267 [-787; -75] мс^2 , $p = 0,038$), що засвідчує певну економізацію регуляції діяльності серця під час малих навантажень.

Така закономірність виявлена й у ході аналізу динаміки HF_{norm} , під час виконання тесту (табл. 3.13). Крім того, у період відновлення цей показник у спортсменів підвищується більшою мірою.

Таблиця 3.13

Нормалізована потужність спектру коливань тривалості інтервалу R-R (%) у діапазоні 0,15-0,4 Гц при пасивній градуальній ортопробі в спортсменів (I) та неспортсменів (II)

Умови	Групи	
	I	II
Спокій	53,55 [46,05; 61,85]	51,33 [37,14; 63,14]
15°	59,78 [50,35; 72,56]	36,09* [31,02; 55,24]
30°	42,97 [32,78; 52,10]	27,17* [21,64; 38,48]
45°	21,84 [17,73; 30,88]	22,84 [14,94; 28,16]
60°-1	14,95 [11,75; 22,70]	15,52 [11,26; 27,60]
60°-2	15,16 [12,29; 22,41]	18,47 [11,17; 26,60]
Відновлення	71,98 [65,92; 84,73]	59,31* [49,15; 66,34]

Примітка. * – $p < 0,05$ між групами

Отже, при пасивній градуальній ортопробі в спортсменів виявлено більше підвищення хвиль тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц, ніж у неспортсменів за нахилу 60°, що може засвідчувати більшу активацію симпатичної ланки вегетативної нервової системи.

3.3. Індивідуальні особливості змін кровообігу нижніх кінцівок при градуальній пасивній ортопробі

3.3.1. Вплив вихідного рівня вегетативної рівноваги на рівні та реактивність показників тонуусу гомілок при тілт-тесті

Виконання градуальної пасивної ортопроби призводило до суттєвих зрушень майже всіх показників периферійної гемодинаміки нижніх кінцівок (табл. 3.14). Зокрема, для АСХ та АЧП вірогідним було їх зменшення з позиції 15°, для $V_{\text{макс}}$ та $V_{\text{сер}}$ – 30°. У разі повернення в горизонтальне положення після тесту АСХ, $V_{\text{макс}}$ та $V_{\text{сер}}$ відновлювалися до вихідного рівня, а АЧП був нижчим за нього ($p < 0,05$). Рівень КНП був девіантним, тому для цього показника використали метод парних порівнянь. Вірогідним стало його підвищення тільки на 5-й хвилині положення 60° ($p = 0,024$).

Таблиця 3.14

Зміни показників гемодинаміки правої гомілки при градуальній пасивній ортопробі в молодих чоловіків (n=76)

Умови	Показники			
	АСХ, Ом	$V_{\text{макс}}$, Ом·с ⁻¹	$V_{\text{сер}}$, Ом·с ⁻¹	АЧП, Ом·с ⁻¹
спокій	0,094±0,005	1,337±0,076	0,790±0,038	1,043±0,058
15°	0,082±0,004*	1,276±0,075	0,759±0,036	0,907±0,049*
30°	0,066±0,004*	1,118±0,068*	0,682±0,039*	0,776±0,046*
45°	0,058±0,003*	1,082±0,060*	0,683±0,032*	0,770±0,041*
60°-1	0,051±0,003*	0,940±0,057*	0,601±0,030*	0,730±0,039*
60°-2	0,044±0,002*	0,924±0,054*	0,621±0,035*	0,657±0,029*
відновлення	0,094±0,005	1,443±0,100	0,820±0,064	0,930±0,048*

Примітка. * – $p < 0,05$ порівняно з рівнем у спокої

Аналіз реактивності досліджуваних показників доводить, що максимальне зниження АСХ ($-0,050 \pm 0,004$ Ом), $V_{\text{макс}}$ ($-0,413 \pm 0,064$ Ом·с⁻¹),

АЧП ($-0,386 \pm 0,047 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$) наявне на 20-й хвилині положення 60° , а $V_{\text{сер}}$ – на 5-й хвилині.

Отже, при пасивній градуальній ортопробі відбувається зниження пульсового кровонаповнення судин нижніх кінцівок. Збільшення тону великих артеріальних судин та артеріол, зменшення кровообігу найбільш виражені на 20-й хвилині кута нахилу 60° . Кровонаповнення ділянки правої гомілки зростало на 5-й хвилині положення 60° . Такі зрушення є компенсаторними, забезпечують повернення венозної крові до серця з нижніх кінцівок, завдяки констрикції судин.

Водночас зміни показників периферійної гемодинаміки були варіативними, що може засвідчувати наявність індивідуальних особливостей у різних людей, які належать навіть до досліджуваної однорідної групи. Одним із чинників, що може зумовлювати це, слугує вихідний рівень вегетативного тону.

Серед сучасних методів визначення ваго-симпатичної рівноваги особливе місце посідає аналіз варіативності серцевого ритму за показником HF_{norm} . Вимірюваних розподілено на три групи (симпато-, нормо- та парасимпатотоніки).

У стані лежачи перед виконанням проби не знайдено відмінностей між рівнями досліджуваних показників кровообігу нижніх кінцівок, за винятком $V_{\text{макс}}$ у нормотоніків, що була вищою, ніж у симпатотоніків (відповідно $1,520 \pm 0,108 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$ та $1,167 \pm 0,133 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$, $p < 0,05$).

Під час виконання тесту міжгрупові відмінності за АСХ між I і III групами з'являються на 15° (відповідно $0,075 \pm 0,007 \text{ Ом}$ та $0,093 \pm 0,010 \text{ Ом}$, $p < 0,05$). Далі наявна статистично значуща різниця на 5-й хвилині 60° між I і II та на 20-й хвилині 60° між I і II та III групами (відповідно $0,039 \pm 0,002 \text{ Ом}$, $0,046 \pm 0,004 \text{ Ом}$, $0,049 \pm 0,005 \text{ Ом}$, $p < 0,05$).

Для показника $V_{\text{макс}}$ вірогідними були міжгрупові відмінності в реактивності симпатотоніків і нормотоніків на всіх градаціях тесту (рис. 3.15). Також реактивність у період відновлення в парасимпатотоніків була

нижчою, ніж у симпатотоніків (відповідно $0,014 \pm 0,100 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$ та $0,307 \pm 0,207 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$, $p < 0,05$). Для симпатотоніків поряд із широкою девіантністю показника було простежуване його зверхвідновлення. На градаціях 15° та 30° зниження показника було більш суттєвим, порівняно з парасимпатотоніками.

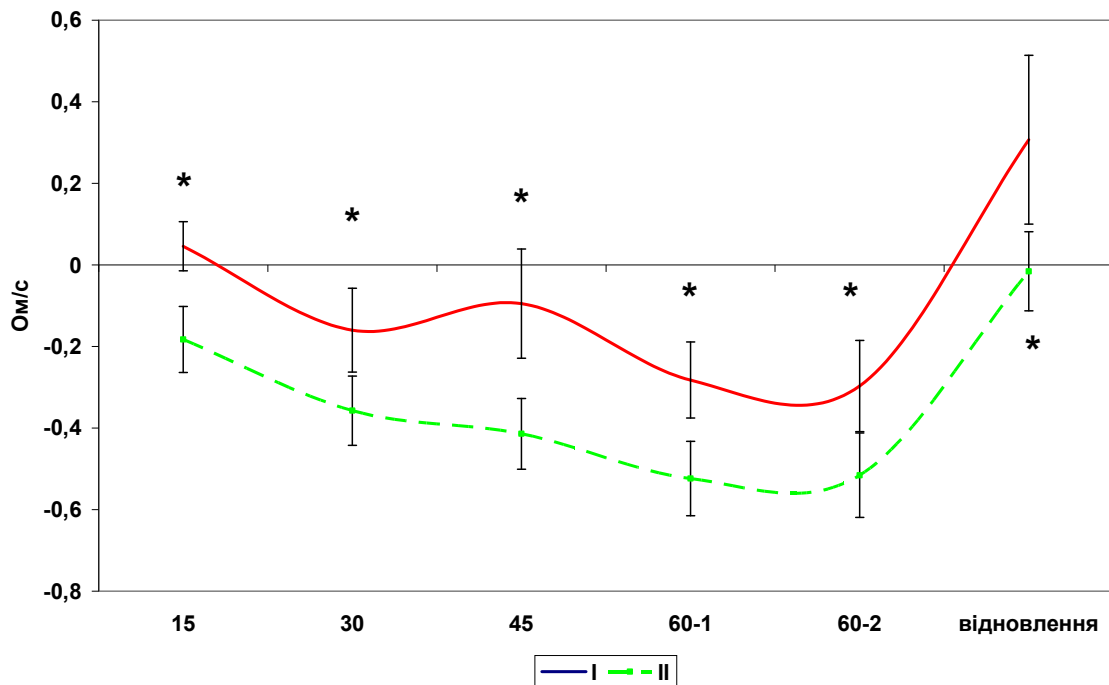


Рис. 3.15. Реактивність V_{\max} у симпатотоніків (I) та нормотоніків (II) на різних етапах пасивної градуальної ортопроби. * – $p < 0,05$ між групами

Рівень $V_{\text{сер}}$ вірогідно найменший у I групі, ніж у II і III групах на 5-й хвилині нахилу 60° (відповідно $0,515 \pm 0,040 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$ та $0,639 \pm 0,049 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$, $0,665 \pm 0,067 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$, $p < 0,05$). Як і в разі з V_{\max} , реактивність цього показника під час відновлення була вищою в I групі, ніж у II і III групах (рис. 3.16).

Отже, при градуйованій пасивній ортопробі в симпатотоніків відбувається менше зниження тонузу великих судин та артеріол, ніж у нормотоніків. У період відновлення після проби в них наявна фаза зверх відновлення – розширення судин.

Динаміка змін АЧП упродовж проби також залежала від вихідного рівня вегетативного тонузу. У положенні 60° як на 5-й, так і на 20-й хвилині цей показник у симпатотоніків знижувався вірогідно більше, ніж у представників I та II груп.

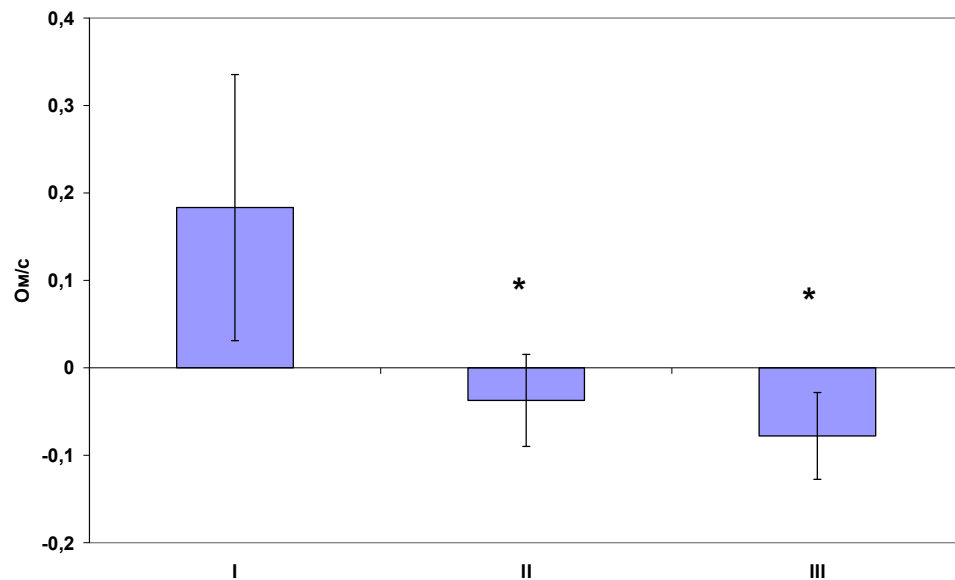


Рис. 3.16. Реактивність V_{sep} під час відновлення в симпатотоніків (I), нормотоніків (II) та парасимпатотоніків (III).

*** – $p < 0,05$ порівняно з I групою**

Таким чином, у симпатотоніків відбувалося більше зниження кровотоку в правій гомілці за максимального кута нахилу пасивної ортопроби.

Реактивність кровонаповнення гомілки впродовж тесту, залежно від вихідного рівня вегетативного тону, мала свою специфіку (табл. 3.15).

Таблиця 3.15

Реактивність показника кровонаповнення правої гомілки

Показники	Групи		
	I (n=)	II (n=)	III (n=)
15°	0,027±0,249	-0,446±0,288	-0,476±0,434
30°	0,202±0,269	-0,415±0,312*	0,199±0,095 [#]
45°	0,425±0,228	-0,069±0,288	0,200±0,301
60°-1	0,684±0,209	0,088±0,291*	0,343±0,163
60-2	0,619±0,353	0,098±0,289	0,319±0,249
відновлення	0,356±0,215	-0,376±0,296*	0,097±0,093 [#]

Примітка. * – $p < 0,05$ порівняно з I групою, [#] – $p < 0,05$ порівняно II з III групою

Ця характеристика вірогідно відрізнялася в парасимпатотоніків, порівняно як із симпатотоніками, так і з ваготоніками за нахилу 30° та в період відновлення після завершення проби .

Висновки

1. При пасивній градуальній ортопробі відбувається зниження пульсового кровонаповнення судин нижніх кінцівок. Збільшення тону великих артеріальних судин та артеріол, зменшення кровообігу найбільш виражені на 20-й хвилині кута нахилу 60° . Кровонаповнення ділянки правої гомілки збільшувалося на 5-й хвилині положення 60° .

2. При градуйованій пасивній ортопробі в симпатотоніків відбувається менше зниження тону великих судин та артеріол, ніж у нормотоніків. У період відновлення після проби в них наявна фаза **зверх** відновлення – розширення судин.

3. У симпатотоніків відбувалося більше зниження кровотоку в правій гомілці за максимального кута нахилу пасивної ортопроби.

4. Реактивність кровонаповнення правої гомілки відрізнялася в парасимпатотоніків (зниження), порівняно як з симпатотоніками, так і з ваготоніками (збільшення) за нахилу 30° та в період відновлення після завершення проби.

3.3.2. Кровообіг нижніх кінцівок у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі

Порівняно показники судинного тону й гемодинаміки правої гомілки в I і II групах у спокої лежачи (табл. 3.16). Спортсмени мали нижчий рівень АСХ та АЧП, що засвідчує менший рівень пульсового кровонаповнення та кровообігу у вимірюваній ділянці периферійного судинного русла. Відсутність відмінностей за іншими показниками може бути доказом як широкої міжіндивідуальної девіантності, так і специфіки тренувальної та змагальної діяльності атлетів.

Під час виконання тесту міжгрупові різниці за АСХ нівелювалися в куті нахилу 60° та відновлювалися після повернення в горизонтальне положення. Вартий уваги той факт, що вірогідне зниження цього показника в II групі відбувалося вже за кута нахилу 15° , а в I – із кута нахилу 30° . Міжгрупові відмінності реактивності АСХ проявлялися на кутах нахилу, починаючи з 45° і досягаючи максимуму на 20-й хвилині положення 60° (для I – $-0,042 \pm 0,007$ Ом та II – $-0,059 \pm 0,010$ Ом відповідно, $p < 0,05$).

Таблиця 3.16

**Показники периферійної гемодинаміки правої гомілки
в спокої лежачи в спортсменів та неспортсменів**

Показники	Спортсмени (n=17)	Неспортсмени (n=17)
АСХ, Ом	$0,085 \pm 0,008$	$0,106 \pm 0,011^*$
$V_{\text{макс}}$, Ом·с ⁻¹	$1,352 \pm 0,155$	$1,656 \pm 0,193$
$V_{\text{сер}}$, Ом·с ⁻¹	$0,749 \pm 0,088$	$0,826 \pm 0,089$
АЧП, Ом·с ⁻¹	$0,849 \pm 0,093$	$1,159 \pm 0,158^*$
КНП, у.о.	$8,210 \pm 0,562$	$7,172 \pm 0,702$

Примітка: * – $p < 0,05$ між групами

Отже, зниження цього показника було меншим у спортсменів, ніж у неспортсменів, що може засвідчувати як прояв економізації реакції, так і, цілком імовірно, нижче фонове значення.

Під час виконання проби $V_{\text{макс}}$ вірогідно знижувалася в обох групах, починаючи з кута нахилу 45° та на 60° . Міжгрупові відмінності за цим показником реєстрували на кутах 15° , 30° , 60° та в період відновлення. Рівень у I групі був нижчим, ніж у II.

Отже, при градуальній пасивній ортопробі тонус великих артеріальних судин у спортсменів зростав більшою мірою, ніж у неспортсменів.

Для динаміки змін $V_{\text{сер}}$ під час проби характерне вірогідне зниження в обох групах на куті нахилу 60° . У спортсменів рівні були вірогідно меншими на 30° , 45° та під час повернення у вихідне горизонтальне положення. Відсутність статистично значущих відмінностей між групами на куті нахилу

60° можна пояснити суттєвою міжіндивідуальною девіантністю реактивності $V_{\text{сер}}$.

Отже, при градуйованій пасивній ортопробі в спортсменів відбувається більше зростання тонуусу артеріол, порівняно з неспортсменами.

Зміни АЧП при градуйованій пасивній ортопробі полягали в його зниженні в обох групах (рис. 3.17). Вірогідним це зниження в I групі було вже на 30°, а в II – починаючи з 45°. Міжгрупові різниці простежувалися як у спокої лежачи, так і на всіх етапах проведення тесту, за винятком 20-ї хвилини в положенні 60°. У спортсменів цей показник був вірогідно нижчим. Утім, реактивність АЧП 20-ї хвилини в положенні 60° у I групі була нижчою, ніж у II (відповідно $-0,243 \pm 0,080 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$ та $0,469 \pm 0,149 \text{ Ом} \cdot \text{с}^{-1}$, $p < 0,05$).

Отже, у спортсменів при ГПО рівень кровотоку в правій гомілці був нижчим, ніж у неспортсменів. Водночас зміни кровотоку на максимальному навантаженні в них були меншими.

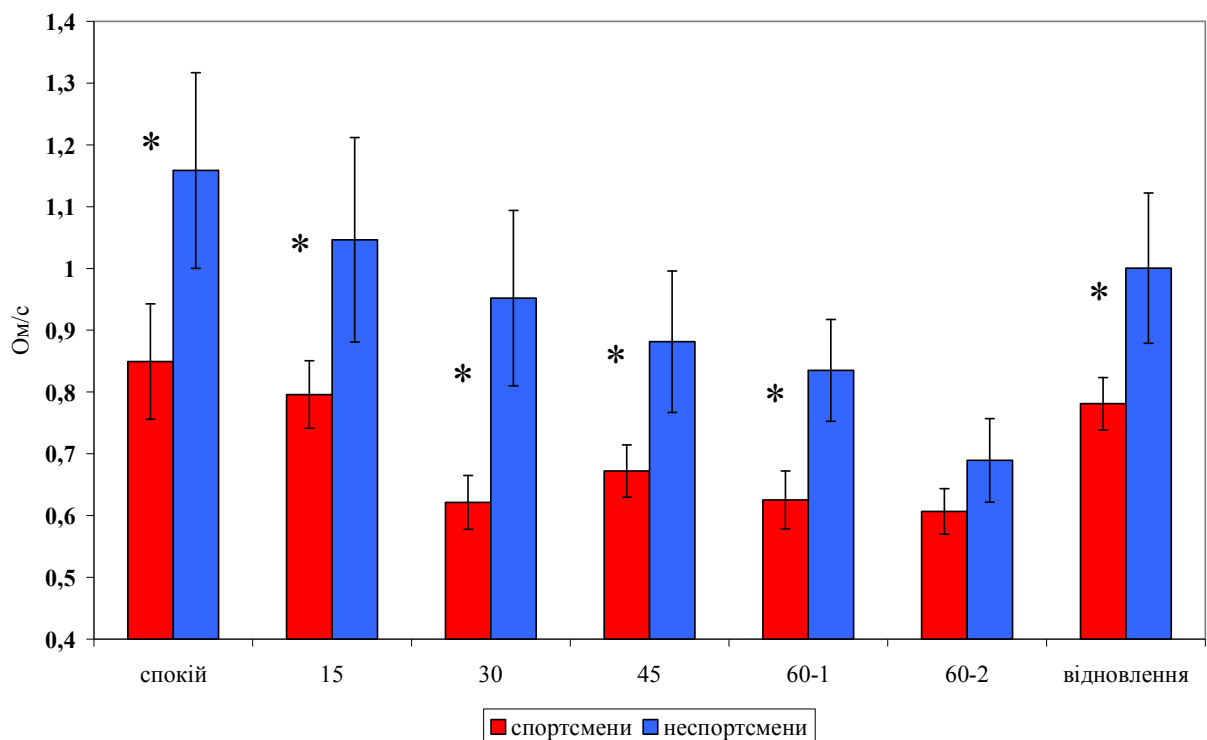


Рис. 3.17. Амплітудно-частотний показник реограми правої гомілки при градуйованій пасивній ортопробі в спортсменів та неспортсменів.

* – $p < 0,05$ між групами

Важливим показником периферійної гемодинаміки є рівень кровонаповнення ділянки тіла (у нашій роботі це права гомілка). Змін КНП упродовж тесту в обох групах не виявлено. Це може бути зумовлене тим, що він має достатньо широкий розкид, спричинений не тільки об'ємом крові, а й особливостями морфологічної будови кінцівки, динамікою об'єму міжклітинної рідини. Водночас аналіз реактивності цього показника виявив вірогідні відмінності між групами на 15°, 30°, 45° та в період повернення людини в горизонтальне положення (рис. 3.18). У спортсменів зафіксовано відносно зменшення КНП, на відміну від неспортсменів. За умов більш тривалого перебування в положенні 60° таких відмінностей не виявлено, очевидно, через індивідуальні особливості змін вмісту крові та міжклітинної рідини в гомілці.

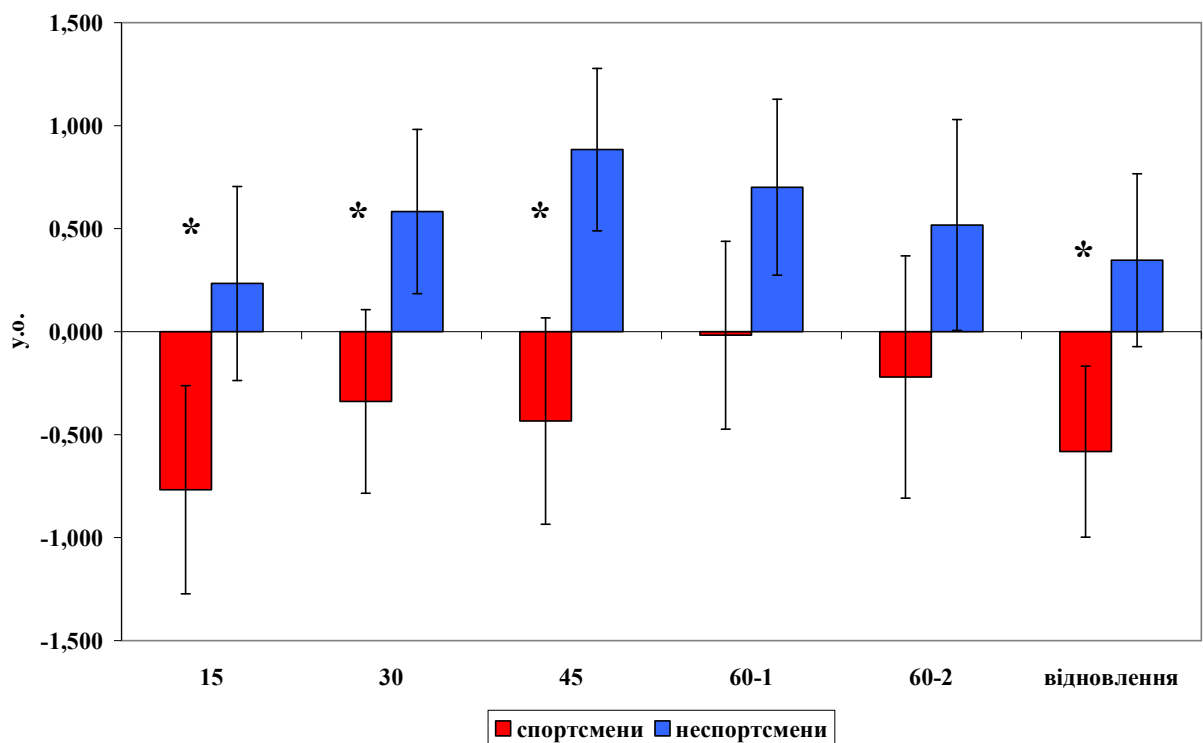


Рис. 3. 18. Показник кровонаповнення правої гомілки при градуйованій пасивній ортопробі в спортсменів та не спортсменів.

* – $p < 0,05$ між групами

Висновки

1. У спортсменів зниження показника пульсового кровонаповнення великих судин нижніх кінцівок при пасивній ортопробі було меншим, ніж у

неспортсменів, що може бути як проявом економізації реакції в них, так і, цілком імовірно, нижчим його фоновим значенням.

2. При градуальній пасивній ортопробі тонус великих артеріальних судин та артеріол гомілки в спортсменів зростав більшою мірою, ніж у неспортсменів.

3. У спортсменів при градуальній пасивній ортопробі рівень кровотоку а правій гомілці був нижчим, ніж у неспортсменів. Водночас зміни кровотоку на максимальному навантаженні були меншими.

4. Відбувалося відносне зменшення кровонаповнення нижніх кінцівок у спортсменів, на противагу неспортсменам.

3.3.3. Особливості змін тонусу нижніх кінцівок при тілт-тесті в осіб із різним рівнем їх базового кровонаповнення

Рівень кровонаповнення ділянки судинного русла може бути важливим чинником, що зумовлює особливості тонусу судин та кровотоку. КНП органів грудної клітки є індивідуальною характеристикою людини, що впливає на центральну гемодинаміку (Коваленко, 2011). Для КНП гомілок характерний широкий розкид навіть у групі чоловіків одного віку, стану здоров'я (Шестеріна, 2023). У зв'язку з нормальністю розподілу, диференціація на підгрупи за цим показником проведена згідно з методом сигмальних відхилень. Виокремлено осіб із переважно низьким рівнем КНП (I, менше 6,67 у.о., n=18), середнім (II – від 6,67 у.о. до 8,67 у.о., n=40) високим (III, більше 8,67 у.о., n=16) рівнями.

Порівняння вихідних рівнів реєстрованих показників периферійної гемодинаміки засвідчило, що їхні значення вірогідно відрізняються щодо інших типологічних груп (табл. 3.17). Особи I групи мали менший тонус як великих артеріальних судин, так і артеріол, більший рівень кровотоку в гомілці, порівняно з чоловіками II і III групи.

**Рівні показників гемодинаміки лівої гомілки в стані спокою
в осіб із різним рівнем кровонаповнення**

Показники	Групи КНП		
	I	II	III
АСХ, Ом	0,123±0,014	0,087±0,004*	0,068±0,006* [#]
V _{макс} , Ом·с ⁻¹	1,905±0,159	1,266±0,094*	0,891±0,092* [#]
V _{сер} , Ом·с ⁻¹	1,030±0,096	0,777±0,039*	0,540±0,061* [#]
АЦП, Ом·с ⁻¹	1,328±0,167	0,985±0,049*	0,723±0,049* [#]

Примітка. * – p<0,05 порівняно з I; # – p<0,05 порівняно II з III

Зміни показника АСХ упродовж виконання пасивної градуальної ортопроби мали свої особливості, залежно від вихідного рівня КНП (табл. 3.18).

Таблиця 3.18

**Показник АСХ при пасивній градуальній ортопробі
в осіб із різним рівнем кровонаповнення в спокої**

Умови		Групи КНП		
		I	II	III
спокій		0,123±0,014	0,087±0,004*	0,068±0,006* [#]
15°		0,113±0,014	0,076±0,003*	0,062±0,004* [#]
30°		0,094±0,012	0,058±0,003*	0,055±0,004*
45°		0,078±0,010	0,055±0,003*	0,045±0,003* [#]
60°-1		0,069±0,007	0,048±0,004*	0,039±0,003* [#]
60°-2		0,058±0,006	0,040±0,002*	0,038±0,002*
відновлення		0,123±0,015	0,088±0,005*	0,079±0,006*
Реактивність	15°	-0,010±0,004	-0,011±0,003	-0,006±0,004
	30°	-0,029±0,005	-0,029±0,004	-0,012±0,006* [#]
	45°	-0,045±0,006	-0,033±0,003*	-0,023±0,005* [#]
	60°-1	-0,054±0,008	-0,039±0,005*	-0,029±0,005*
	60°-2	-0,065±0,011	-0,047±0,004*	-0,030±0,006* [#]
	відновлення	0,001±0,005	0,001±0,005	0,011±0,007

Примітка. * – p<0,05 порівняно з I групою; # – p<0,05 між II та III групами

Міжгрупові відмінності, характерні для спокою лежачи, зберігалися на 15°, 45°, 5-й хвилині нахилу 60°. Вищою була реактивність показника в осіб І групи, порівняно з II та III, починаючи з нахилу 45°. У ході відновлення після тесту нівелювалися відмінності між II та III групами.

Кореляційний аналіз між КНП у спокої та рівнями її реактивністю АСХ засвідчив наявність середнього зв'язку за рівнями (від -0,503 до -0,547 у спокої, 15°, 30°, 45°) та слабкого зв'язку за рівнями на 60°, під час відновлення (від -0,440 до -0,447). Реактивність АСХ із КНП мала слабкий позитивний кореляційний зв'язок на 45° (+0,322), 5-й хвилині 60° (+0,310), 20-й хвилині 60° (+0,434).

Отже, цілком імовірно, що рівень КНП є важливим, але не домінуючим чинником рівня, до того ж реактивності АСХ при пасивній градуальній ортопробі.

Зміни пульсового кровонаповнення правої гомілки були більшими під час пасивної градуальної проби в осіб із низьким рівнем кровонаповнення, порівняно з особами із середніми, до того ж із високими значеннями цієї характеристики в спокої лежачи.

Для показника $V_{\text{макс}}$ були характерні такі самі закономірності зрушення впродовж тесту, залежно від вихідного рівня КНП, як і для АСХ. Утім, для реактивності на 20-й хвилині положення 60° амплітуда міжгрупових відмінностей була більш виражена (рис. 3.19).

Кореляційний аналіз засвідчив такі самі рівні зв'язку КНП та $V_{\text{макс}}$, як і в разі з АСХ. Утім, достовірною була кореляція реактивності середньої швидкості з вихідним рівнем КНП тільки на 20-й хвилині положення 60° (+0,315, $P < 0,05$).

Реактивність $V_{\text{сер}}$ упродовж пасивної градуальної ортопроби в групах осіб із різним вихідним рівнем КНП мала свої особливості (табл. 3.19).

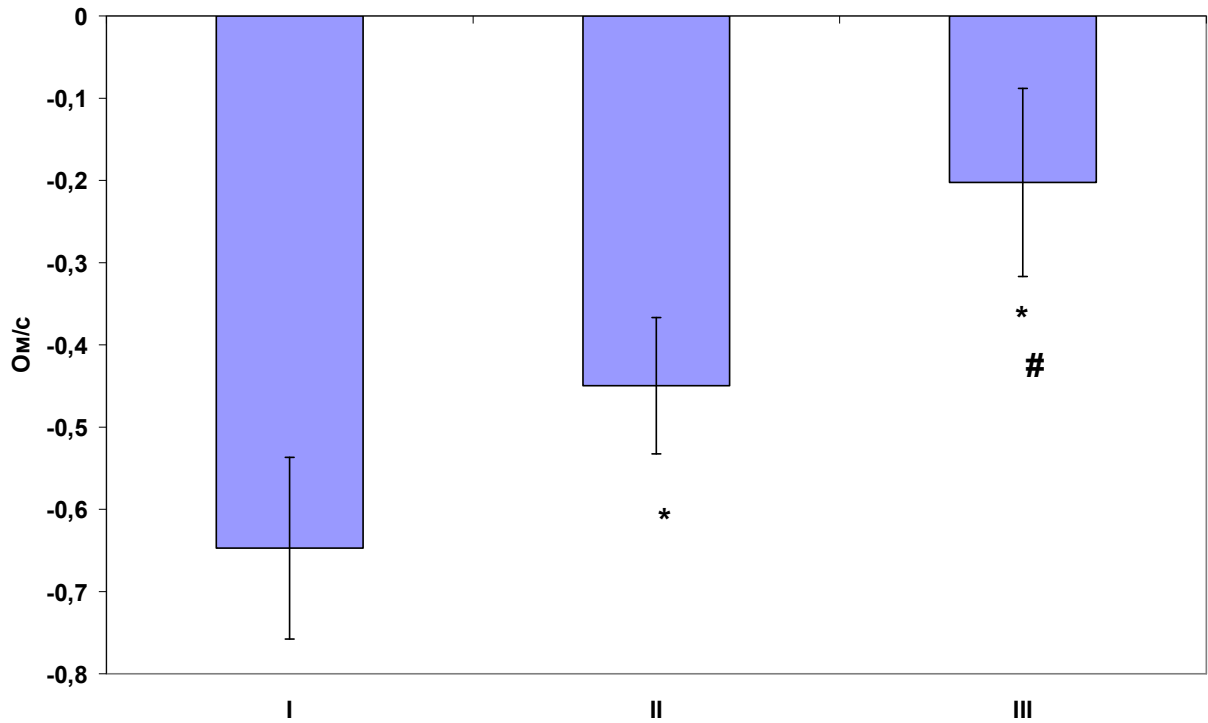


Рис. 3.19. Реактивність V_{\max} на 20-й хвилині нахилу 60° пасивної градуальної ортопроби в осіб із різним вихідним рівнем кровонаповнення правої гомілки.

* – $p < 0,05$ порівняно з I групою; # – $p < 0,05$ між II та III групами

Таблиця 3.19

Реактивність $V_{\text{сер}}$ при пасивній градуальній ортопробі в осіб із різним рівнем кровонаповнення в спокої

Умови	Групи		
	I	II	III
15°	$-0,038 \pm 0,031$	$-0,043 \pm 0,028$	$0,033 \pm 0,049^{\#}$
30°	$-0,093 \pm 0,039$	$-0,187 \pm 0,040^*$	$0,022 \pm 0,066^{\#}$
45°	$-0,171 \pm 0,038$	$-0,132 \pm 0,038$	$0,039 \pm 0,068^{\#}$
$60^\circ-1$	$-0,244 \pm 0,061$	$-0,208 \pm 0,051$	$-0,095 \pm 0,065^*$
$60^\circ-2$	$-0,228 \pm 0,051$	$-0,226 \pm 0,035$	$-0,048 \pm 0,068^{\#}$
відновлення	$-0,067 \pm 0,040$	$0,071 \pm 0,107^*$	$0,067 \pm 0,080^*$

Примітка. * – $p < 0,05$ порівняно з I групою; # – $p < 0,05$ між II та III групами

Вірогідні зміни цього показника були відсутні в осіб III групи на всіх етапах тесту та наявні, починаючи з 30° , для I і II групи. Відновлення $V_{сер}$ після тесту швидше проходить в осіб II та III груп, порівняно з I.

Отже, при градуйованій пасивній ортопробі простежуване збільшення тону артеріол, що пропорційне за амплітудою в осіб із відносно низьким і середнім вихідними рівнями КНП. Відсутні зміни в осіб із відносно високим рівнем вихідного КНП.

Подібні закономірності змін, залежно від вихідного рівня КНП, зафіксовано впродовж пасивної градуальної ортопроби й у разі АЧХ (рис. 3.20). Відмінною була динаміка цього показника в осіб із високим рівнем кровонаповнення гомілки. Потрібно зазначити, що на 45° , 5-й та 20-й хвилинах 60° АЧХ знижувався і в III групі.

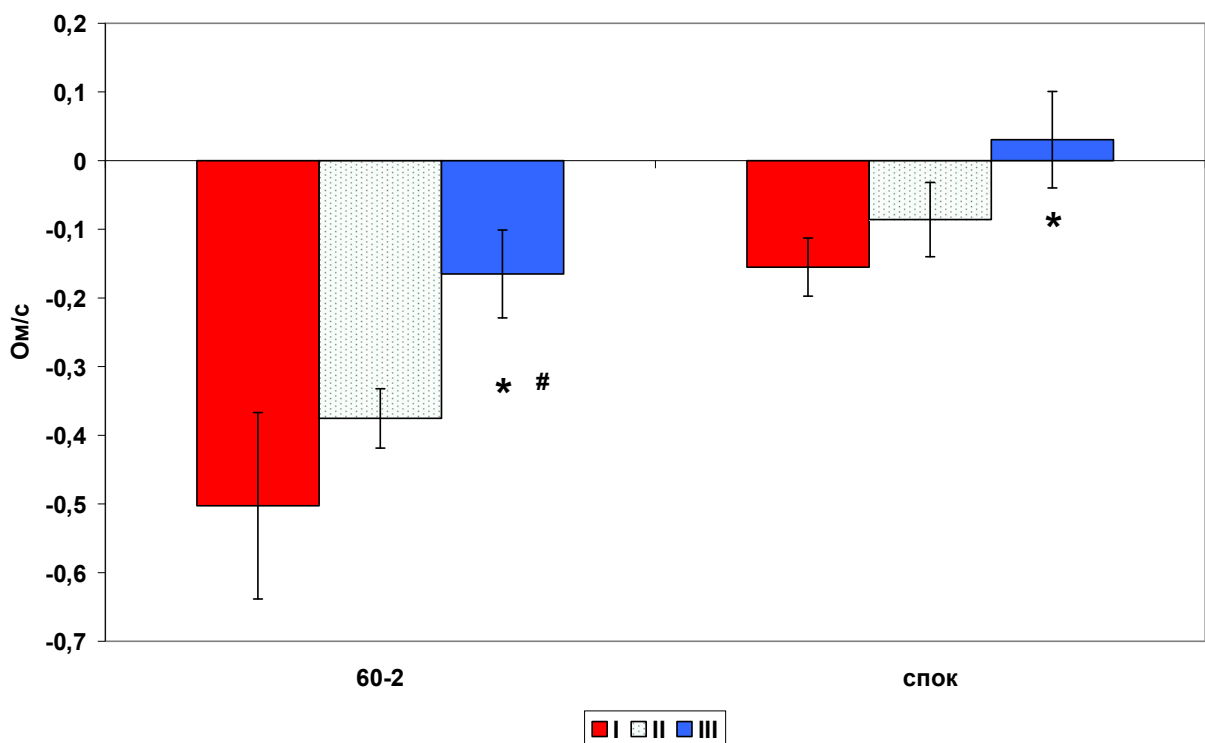


Рис. 3.20. Реактивність АЧП на 20-й хвилині нахилу 60° пасивної градуальної ортопроби в осіб із різним вихідним рівнем кровонаповнення правої гомілки.

* – $p < 0,05$ порівняно з I групою; # – $p < 0,05$ між II та III групами

Отже, при пасивній градуальній ортопробі відбувалося зниження кровотоку в нижніх кінцівках, що меншою мірою виражене в осіб із відносно високим рівнем фонового кровонаповнення гомілки.

Зміни КНП суттєво відрізнялися залежно від вихідного рівня впродовж пасивної градуальної ортопроби (табл. 3.20).

Таблиця 3.20

Реактивність КНП

Умови	Групи		
	I	II	III
15°	0,134±0,320	-0,177±0,193	-0,997±0,542* [#]
30°	0,281±0,316	0,078±0,137	-0,651±0,510* [#]
45°	0,909±0,248	0,258±0,100*	-0,831±0,542* [#]
60°-1	0,740±0,309	0,500±0,083	-0,576±0,492* [#]
60°-2	0,839±0,314	0,561±0,079	-0,914±0,654* [#]
відновлення	0,439±0,301	0,056±0,106*	-0,840±0,465* [#]

Примітка. * – $p < 0,05$ порівняно з I групою; [#] – $p < 0,05$ між II та III групами

Статистично вірогідними показники були тільки для I та II груп на 45°, 5-й та 20-й хвилині 60° і полягали в збільшенні вмісту крові в гомілках. Найбільшим за амплітудою це збільшення зареєстроване в осіб I групи. В осіб III групи реактивність КНП на всіх етапах тесту відрізнялася від I та II групи. Варта дослідницької уваги висока девіантність реакцій у цій групі.

Отже, в осіб із відносно низьким і середнім рівнями кровонаповнення гомілки відбувалося зниження значення під час виконання пасивної градуальної ортопроби, а в осіб із відносно високим фоном рівнем змін не виявлено.

3.3.4. Особливості змін центральної гемодинаміки при тілт-тесті в осіб із різним рівнем базового кровонаповнення гомілок

У стані спокою зафіксовано більш високі рівні систолічного й середнього тиску в групі з високим КНП (табл. 3.21). Реактивність систолічного тиску при ортопробі (зменшення) була вищою в осіб III групи.

Найбільш залежною від рівня кровонаповнення гомілок була реактивність показника тривалості фази напруження (рис. 3.21). У цьому положенні коефіцієнт кореляції між вихідним рівнем КНП та реактивністю фази напруження дорівнював $-0,432$ ($p < 0,01$).

Таблиця 3.21

Показники артеріального тиску в спокої лежачи в чоловіків із різним рівнем кровонаповнення нижніх кінцівок

Показники	Групи		
	I	II	III
АТ _{макс} , мм рт. ст.	121,67±1,98	120,90±1,07	127,35±2,47* [#]
АТ _{мін} , мм рт. ст.	77,50±1,36	76,41±1,04	78,24±1,60
АТ _{сер} , мм рт. ст.	92,22±1,35	91,24±0,92	94,61±1,62 [#]

Примітка. * – $p < 0,05$ порівняно з I; # – $p < 0,05$ порівняно з II і III

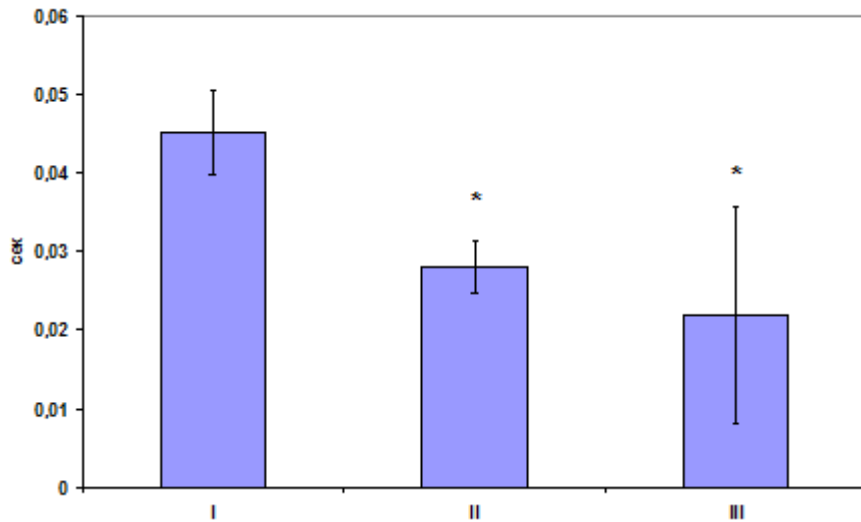


Рис. 3.21 Реактивність фази напруження міокарду за кута 60 градусів пасивної ортопроби в осіб із низьким (I), середнім (II) та високим (III) рівнями кровонаповнення гомілок. * – $p < 0,05$ порівняно з I групою

Обговорення результатів досліджень

Важливим питанням у дослідженнях, присвячених зміні гемодинаміки в разі зміни положення тіла, є можливі механізми пристосувань. Згідно з науковими джерелами, після набуття вертикального положення сила тяжіння перерозподіляє об'єм крові донизу. Протягом 2-3 хвилин 500-800 мл крові (приблизно 10 % від загального об'єму крові та 25 % від об'єму крові грудної клітки) швидко переміщується до нижньої частини тіла, особливо до органів малого таза та проксимальних відділів ніг [154]. У разі тривалого стояння об'єм плазми ще більше зменшується через транскапілярну дифузію [165]. Серед цих змін найважливішим показником ортостатичного стресу є величина перерозподілу об'єму грудної крові.

У здорових людей компенсаторні рефлекторні реакції на стояння досить ефективні. Розвантаження каротидних і серцево-легеневих барорецепторів зумовлює симпатичні норадренергічні відтоки, які підвищують тонус периферичних вазоконстрикторів, частоту серцевих скорочень та інотропний стан. Одночасна активація м'язів живота й нижніх кінцівок у ритмічних циклах скорочення та розслаблення, «скелетний м'язовий насос» спричинюють неусвідомлене погойдування тіла. Під час стояння це виявляється більш активно, коли людина переносить вагу з ноги на ногу або ходить. Стискаються ємнісні судини, що сприяє поверненню венозної крові до серця [35]. Нейроендокринні реакції, такі як збільшення вивільнення аргінін-вазопресину, зменшення секреції передсердного натрійуретичного пептиду [132] та активація ренін-ангіотензин-альдостеронової системи, також роблять свій внесок.

Важливо розуміти, що фізіологічні ефекти пасивного нахилу голови вгору відрізняються від ефектів активного стояння. У здорових людей активне стояння, порівняно з пасивним нахилом голови вгору, породжує транзиторне, але більше зниження АТ, більше зростання ЧСС, більше зниження загального периферичного опору, більше зростання серцевого

викиду протягом перших 30 секунд [162]. Виявлено, що в молодих здорових людей максимальне зниження середнього АТ відбувалося приблизно через 10 секунд після вставання і становило -39 ± 10 проти -16 ± 7 мм рт. ст. на нахиленому столі, тоді як ЧСС зростала на 35 ± 8 проти 12 ± 7 уд/хв.

Гемодинамічні дослідження засвідчили, що початкове зниження АТ за активного стояння зумовлене системною вазодилатацією, зумовленою активацією серцево-легеневих барорефлексів як рефлекторної відповіді на швидке повернення крові до серця, унаслідок скорочення м'язів живота й нижніх кінцівок, які стискають сланцеві та м'язові судини [158].

Таке початкове падіння АТ під час активного стояння, яке зазвичай не простежуване в ході тесту з нахилом столу, може пояснити деякі випадки падіння або непритомності, що виникають відразу після вставання [177]. Звичайний тест із нахилом столу не унеможливує цього. У проспективному порівнянні тесту з нахилом голови догори та активного стояння у 290 пацієнтів, за якими спостерігали в геріатричній клініці, поширеність СН під час нахилу голови догори, порівняно з активним стоянням (виміряна на третій хвилині), становила 19 % проти 37 %, але частота повторних падінь була вищою в групі з СН у разі нахилу голови догори (36,4 % проти 21,7 %, $P=0,004$) [34].

Активне стояння також асоціюється з більшим транзиторним підвищенням ЧСС, ніж пасивний нахил головою вгору. У дослідженні молодих здорових людей виявлено, що активне стояння викликає негайне бімодальне підвищення ЧСС, досягаючи першого піку на 27 уд/хв вище від вихідного рівня на 3 секунді, другого піку на 30 уд/хв вище від вихідного рівня на 12 секунді, повернення до вихідного рівня на 20 секунді. Оскільки перший пік ЧСС майже ідентичний до того, що породжений вправою на руків'я, він усувається атропіном, але на нього не впливає пропранолол. Механізм цього кардіопришвидшення, очевидно, вказує на центральну команду з рефлекторним виведенням вагусного контролю [145].

Результати наших досліджень при пасивній ортопробі переважно збігаються з науковими публікаціями. Утім, застосовувані іншими дослідниками протоколи не повною мірою давали змогу виявляти особливості реагування центральної, периферійної гемодинаміки, варіабельності серцевого ритму на тест. Важливо, що в дисертації відстежено ці параметри діяльності серцево-судинної системи після припинення навантаження, що послугувало підставою для нових узагальнень.

Зміни гемодинамічних показників при активній ортопробі досліджували й вітчизняні вчені. Зокрема, С. Коваленко та співавтори зосереджували увагу переважно на змінах хвильових проявів гемодинаміки. Реактивність показників серцевого ритму при активній ортопробі в здорових чоловіків девіантна, що засвідчує наявність індивідуальних особливостей [10]. Спектральний аналіз хвильових змін ударного об'єму крові при активному ортостазі довів зниження потужності в діапазоні високих частот серцевого ритму за відносного збереження потужності в низькочастотному діапазоні [8]. Під час оцінювання хвильових змін у гемодинаміці при активній ортопробі застосовували крос-спектральний аналіз т-R-R та УОК [7, 117]. Крос-спектральна потужність максимального піку в діапазоні низьких частот збільшувалася та корелювала зі змінами артеріального тиску. У жінок зміни коливань т-R-R у цьому частотному діапазоні були нижчими [103].

Такі дані цілком узгоджуються з результатами, що отримані нами під час вимірювань. Утім, амплітуда змін гемодинамічних показників при пасивній ортопробі дещо відрізнялася. Такий стан можна пояснити виключенням так званого «м'язового насоса» під час повернення венозної крові до серця.

За даними Kurosawa Y. e.a. [109], тривале сидіння протягом 8 годин викликає набряк, а також погіршення артеріального кровотоку, швидкості зсуву й мікроциркуляції в м'язах нижніх кінцівок. Натомість застосування еластичного трикотажу з низьким тиском успішно запобігає патофізіологічним погіршенням, пов'язаним із тривалим сидінням.

У групі з дванадцяти молодих здорових людей використовували тест на ішемічну оклюзію, сім хвилин низькоінтенсивних ритмічних вправ на плантарфлексію, а також поверхневий кровотік стегнової кістки і ближню інфрачервону спектроскопію литки для оцінювання реакції мікросудин на вазодилататор, розширення артерій, опосередковане потоком крові, гіперемію, викликану фізичним навантаженням, за розташування ноги вище або нижче від серця в рандомізованому порядку. Розташування ноги над серцем призводить до ослаблення пікової судинної дилататорної реакції та індукованої фізичним навантаженням гіперемії [120].

М'язова симпатична нервова активність знижується під час їзди на велосипеді з низькою інтенсивністю через індуковане м'язовим насосом збільшення венозного повернення та навантаження на серцево-легеневі барорецептори. Високоінтенсивні вправи породжують градуйоване симпатозбудження [93].

Литковий м'язовий насос сприяє венозному поверненню від нижньої кінцівки та переднавантаженню і серцевому викиду. Порушення його функції може відобразити ступінь слабкості або кумулятивного тягаря захворювань, ускладнювати серцеву функцію. Зв'язок між зниженою функцією литкового насоса, серцевою недостатністю та смертністю слугує потенційним доказом негативного впливу на функцію кровообігу [73].

Тривимірне моделювання периферичного глибокого венозного кровотоку під час м'язового навантаження в кінцівках здорових людей і людей із венозною дисфункцією проводили методом обчислювальної гідродинаміки. Результати моделювання демонструють зниження венозного повернення для некомпетентних клапанів під час тренування литки. Розглянуто два різні ступені клапанної некомпетентності, що полягають в обмеженні руху одного або обох клапанів. Результати моделювання довели, що тільки проксимальний клапан є критичним, із 30 % зниженням венозного повернення під час тренування литки в разі клапанної некомпетентності: чистий об'єм потоку, що викидається литкою в центральному напрямку,

становив 0,14 мл за робочий цикл, проти 0,2 мл для змодельованих здорових кінцівок. Цей висновок узгоджується з 25 % зниженням фракції викиду литки, яке експериментально простежуване в кінцівках із хронічними венозними захворюваннями, порівняно зі здоровими кінцівками [130].

Одне із завдань, яке постало під час обговорення результатів дослідження, – порівняння з подібними працями, присвяченими з'ясуванню індивідуальних особливостей фізіологічних і психофізіологічних функцій у людини. У студіях М. Макаренка, В. Лизогуба, Л. Юхименка обґрунтовано вплив функціональної рухливості нервових процесів на особливості функціонування серцево-судинної системи, зокрема при пасивній ортопробі [11, 18, 21].

Досліджено індивідуальні особливості реакції серцево-судинної системи в людей із різним індексом маси тіла [20], частотою дихання [105], рівнем серцевого викиду [6, 20], рівнем кровонаповнення органів грудної клітки [12, 124].

Поділ за індивідуально-типологічними ознаками, що нормально диференційовані, виконують за критерієм сигмальних відхилень. Подібний критерій поділу на групи застосовано й у нашому дослідженні.

Нині запропоновано численні публікації, де акцентовано вплив вихідного рівня вегетативного балансу на зміни гемодинаміки в разі різних навантажень: офтальмостимуляції [22], гіпервентиляції [181], об'ємного пневмопресингу [30]. У праці О. Андрощук та ін. [1] найбільші відмінності в реактивності серцевого ритму при активній ортопробі проявляються в діапазоні низьких частот серцевого ритму. У симпатотоніків переважали здебільшого реакції зниження потужності спектру в цьому діапазоні, у нормо- й парасимпатотоніків – реакції збільшення LF та амплітуди максимального піку спектрограми. Такі дані переважно корелюють із результатами нашої роботи.

Багато авторів вивчало вплив занять спортом на реактивність серцево-судинної системи людини за різноманітних умов. Схарактеризовано

особливості артеріального тиску в спортсменів із різною спрямованістю тренувального процесу [3]. У представників циклічних видів спорту досліджено реактивність центральної гемодинаміки при опорі диханню [2]. Зміни варіабельності серцевого ритму при активній ортопробі аналізували С. Коваленко, О. Калениченко [9].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено нове розв'язання актуальної для фізіології проблеми – обґрунтування індивідуальних особливостей реактивності серцево-судинної системи здорових чоловіків на пасивну зміну положення тіла. Відповідно до мети й завдань дослідження, за допомогою об'єктивних стандартних методик проаналізовано центральну та периферійну гемодинаміку, варіабельність серцевого ритму в осіб із різними вихідними рівнями тонузу автономної нервової системи, кровонаповнення нижніх кінцівок атлетів. Одержані результати послуговували підставою для формулювання низки висновків.

1. Унаслідок аналізу літературних джерел і проведених експериментальних вимірювань, константовано, що реактивність здорових молодих чоловіків при пасивній градуальній ортопробі залежить від вихідного рівня вегетативного тонузу, кровонаповнення гомілок та особливостей систематичних тренувальних навантажень.

2. Під час пасивної ортопроби зафіксовано підвищення систолічного артеріального тиску, зниження серцевого викиду, збільшення фази напруження та індексу напруження міокарду, пригнічення коливань т-RR у високочастотному діапазоні, що пропорційне до кута нахилу, збільшення тонузу судин гомілки. Уперше продемонстровано парадоксальне збільшення т-RR, SDNN, потужності коливань т-RR у діапазоні 0,04-0,15 Гц після закінчення проби та переході у вихідне положення.

3. Зміни показників центральної гемодинаміки за кута нахилу 60° пасивної ортопроби залежать від вихідного рівня вегетативного тонузу та є найбільшими в парасимпатотоніків. Також у парасимпатотоніків виявлено більше, порівняно з сиспато- й нормотоніками, зниження коливань серцевого ритму, переважно через хвилі діапазону 0,15-0,4 Гц. У симпатотоніків зафіксоване менше зниження тонузу великих судин та артеріол, ніж у

нормотоніків. У період відновлення після проби в них була наявна фаза зверх відновлення – розширення судин.

4. У спортсменів, на відміну від неспортсменів, реактивність діастолічного тиску була вірогідно більшою (підвищення) на початку перебування в положенні 60°. Подальше збільшення контатовано через 20 хвилин, поряд із більшою амплітудою зростання потужності коливань T-RR у діапазоні 0,04-0,15 Гц. Кровообіг нижніх кінцівок вирізнявся більшим тонусом великих судин та меншими об'ємними значеннями як у спокої, так і під час проби. За градацій проби 15, 30, 45 градусів та відновлення реактивність кровонаповнення гомілок була меншою, ніж у неспортсменів.

5. У стані спокою виявлено більш високі рівні систолічного й середнього тиску в групі з високим кровонаповненням гомілок. Реактивність систолічного тиску при ортопробі (зменшення) була вищою в цих осіб. Найбільш залежна від рівня кровонаповнення гомілок – реактивність показника тривалості фази напруження. У цьому положенні коефіцієнт кореляції між вихідним рівнем кровонаповнення гомілок та реактивністю фази напруження дорівнював $-0,432$ ($p < 0,01$). Рівень кровонаповнення гомілок мав переважно середній ступінь зв'язку з рівнями всіх периферійних гемодинамічних показників як у стані спокою, так і під час проби. Рівні й реактивність кровонаповнення гомілок були пов'язані з вихідним рівнем.

6. Урахування індивідуальних відмінностей реагування серцево-судинної системи людини, що описані в дисертації, здатне підвищити діагностичну та прогностичну цінність градуальної пасивної ортопроби, а також спонукати до окреслення перспективних напрямів її використання в реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андросчук О. І., Кудій Л. І., Рибалко А. В., Черненко Н. П. Хвильова структура серцевого ритму при ортопробі у осіб з різним рівнем вегетативного тонусу. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2021. № 1. С. 4–11. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2021-1-4-11.
2. Гречуха С. В., Коваленко С. О., Безкопильний О. О., Гаценко В. П. Реактивність центральної гемодинаміки при диханні з опором у представників різних циклічних видів спорту. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2015. Вип. 2 (335). С. 20–25.
3. Каленіченко О. В., Коваленко С. О., Токар С. І., Харченко Д. М. Особливості артеріального тиску у студентів-спортсменів з різною спрямованістю тренувального процесу. *Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичної культури і спорту*. 2011. № 11. С. 55–58.
4. Коваленко С. О. Регуляторні ритми гемодинаміки та їх індивідуальні особливості у людей: дис. на здобуття наук. ступеня доктора біол. наук: спец. 03.00.13 «Фізіологія людини і тварин» / М-во освіти і науки України, Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ, 2009. 367 с.
5. 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.
6. Коваленко С. О. Варіабельність серцевого ритму у осіб різних типів гемодинаміки. *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія*. 2006. № 3. С. 52-56.
7. Коваленко С. О. Крос-спектральний аналіз коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у чоловіків в спокої та при різних навантаженнях. *Фізіологічний журнал*. 2008. Т. 54. № 1. С. 79–84.

8. Коваленко С. О. Спектральний аналіз коливань ударного об'єму крові у чоловіків в спокої та при різних навантаженнях. *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія*. 2008. № 2. С. 59–63.

9. Коваленко С. О., Калениченко О. В. Центральна гемодинаміка та варіабельність серцевого ритму в осіб з різним рівнем фізичної працездатності. *Матеріали XVII з'їзду Українського фізіологічного товариства. Фізіологічний журнал*. 2006. Т. 52. № 2. С. 92–93.

10. Коваленко С. О., Кудій Л. І. Аналіз варіативності реакцій серцевого ритму при змінах положення тіла. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. Черкаси, 2002. Вип. 39. С. 70–74.

11. Коваленко С. О., Макаренко М. В. Центральна гемодинаміка у людей з різним рівнем функціональної рухливості нервових процесів при розумових і фізичних навантаженнях. *Фізіологічний журнал*. 2005. Т. 51. № 6. С. 58–62.

12. Коваленко С. О., Рибалко А. В. Особливості центральної гемодинаміки та її коливань у осіб із різним рівнем кровонаповнення органів грудної клітки. *Фізіологічний журнал*. 2009. Т. 55. № 5. С. 97–103.

13. Коваленко С. О., Циганник Р. А. Аритмії, шумові явища, наявність тренду та хвильова структура серцевого ритму. *Актуальні проблеми фізіології та реабілітації: матеріали міжн. наук. інтернет-конф. (Черкаси, 30 листопада 2021 р.) / Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького*. Черкаси, 2021. С. 125–128.

14. Коваленко С. О., Циганник Р. А. Варіабельність серцевого ритму при градуйованій пасивній ортопробі у чоловіків. *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. 2024. № 1–2. С. 87–94

15. Коваленко С. О., Циганник Р. А., Дзюник І. С. Кровообіг нижніх кінцівок у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі. *Адаптаційні можливості дітей та молоді: збірник наукових праць XV Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 105-річчю з дня заснування*

кафедри фізичної реабілітації, біології і охорони здоров'я та 60-річчю створення лабораторії функціональної діагностики імені професора Т. М. Цонєвої Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Одеса, 19–20 вересня 2024 року, Ч. 2) / голов. ред. А. І. Босенко. Одеса: Університет Ушинського, 2024. С. 169–176.

16. Коваленко С. О., Яковлев М. Е. Комп'ютерна програма для реєстрації та аналізу ритму серця і дихання «CASPICO». Авторське свідоцтво України № 11262. 54 с. Укр. – Деп. в УААСП 4.10.2004. – Реф. в офіційному бюлетені «Авторське право і суміжні права», 6, 338.

17. Ковтун М. Ф. Мінливість, змінюваність, еволюція. *Вісник Черкаського університету*. Серія біологічні науки. 2018. № 1. С. 49–59. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2-49-59.

18. Колесник А. С. Особливості психофізіологічних функцій у дітей 5-7 років з різними індивідуально-типологічними властивостями нервової системи 091 Біологія та біохімія: дис. / Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2024. 158 с.

19. Лизогуб В. С., Коваленко С. О., Дзюбан Ю. О., Кудій Л. І. Серцевий ритм у осіб з різними типами гемодинаміки у стані спокою та при ортопробі. *Вісник Черкаського університету*. Серія біологічні науки. 2012. Вип. 39 (252). С. 78–84.

20. Лизогуб В. С., Коваленко С. О., Дзюбан Ю. О., Кудій Л. І., Грищенко О. В., Борейко Т. І. Особливості реакцій центральної гемодинаміки та регуляції серцевого ритму на ортопробу осіб з різним індексом маси тіла. *Вісник морфології*. 2008. Т. 14. № 1. С. 109–114.

21. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Юхименко Л. І. Серцевий ритм у студентів з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності за умов екзаменаційного стресу. *Фізіологічний журнал*. 2003. Т. 49. № 1. С. 28–33.

22. Рибалко А. В., Коваленко С. О., Кудій Л. І. Вплив імпульсної офтальмофотостимуляції на серцево-судинну систему при різних рівнях вегетативного тонусу. *Вісник Черкаського університету*. Серія біологічні науки. 2013. Вип. 2 (255). С. 89–93.

23. Цибенко В. О. Кровообіг. Фізіологія з основами патофізіології. Черкаси: Черкаський ЦНП, 2010. 295 с.

24. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Вплив градуйованої пасивної ортопроби на гемодинаміку здорових чоловіків з різним рівнем вегетативного тонусу. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 8. С. 75–82.

25. Циганник Р. А. Зміни артеріального тиску при пасивній градуальній ортопробі. *Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених «Родзинка – 2023» / XXV Всеукраїнська наукова конференція молодих учених*. Черкаси: ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2023. С. 896–897.

26. Циганник Р. А., Каленіченко О. В., Федяй І. О., Коваленко С. О. Особливості змін центральної гемодинаміки при градуальній пасивній ортопробі. *Вісник Черкаського університету*. Серія біологічні науки. 2023. № 2. С. 102–108.

27. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Вплив пасивної градуальної ортопроби на артеріальний тиск у спортсменів. *Адаптаційні психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту: матеріали Міжнародної наук.-практичної конф. (Київ – Черкаси, 7–8 грудня 2023 р.) / Національний університет фізичного виховання і спорту України. Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького*. Київ – Черкаси, 2023. С. 128.

28. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Зміни артеріального тиску у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі. *Актуальні проблеми фізичної культури, спорту і здоров'я: матеріали Міжнародної наук. інтернет-*

конф. (Черкаси, 30–31 травня 2024 р.) / Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького. Черкаси, 2024. С. 48–50.

29. Циганник Р. А., Коваленко С. О. Зміни центральної гемодинаміки у спортсменів при градуальній пасивній ортопробі. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2024. № 1. С. 150–156.

30. Шестеріна Д. В., Паламарчук А. Л., Коваленко С. О. Вплив об'ємного пневмопресингу на периферичну гемодинаміку у осіб з різним рівнем кровонаповнення нижніх кінцівок. *Журнал здобутки клінічної та експериментальної медицини*. 2023. № 3. 190–194. doi: <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2023.v.i3.14089>.

31. Androshchuk O. I., Zavhorodnia V.A. Correlation of vegetative tone indicator with Kerdo index and heart rate variability. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2018. № 1. С. 3–6. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-1-3-6.

32. Aponte-Becerra L., Novak P. Tilt Test: A Review. *J Clin Neurophysiol*. 2021. Jul 1. 38(4):279-286. doi: 10.1097/WNP.0000000000000625. PMID: 34009851.

33. Arakaki X., Arechavala R. J., Choy EH, Bautista J., Bliss B., Molloy C., Wu DA, Shimojo S., Jiang Y., Kleinman MT, Kloner RA. The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review. *Front Neurosci*. 2023 Mar 1;17:1055445. doi: 10.3389/fnins.2023.1055445. PMID: 36937689; PMCID: PMC10014754.

34. Aydin AE, Soysal P, Isik AT (2017) Which is preferable for orthostatic hypotension diagnosis in older adults: active standing trest or head-up tilt table test? *Clin Interv Aging* 12:207–212 <https://doi.org/10.2147/CIA.S129868>.

35. Borst C, van Brederode JF, Wieling W, van Montfrans GA, Dunning AJ (1984) Mechanisms of initial blood pressure resposne to postural change. *Clin Sci (Lond)* 67:321–327 <https://doi.org/10.1042/cs0670321>.

36. Bota O, Martin J, Hammer A, Scherpf M, Matschke K, Dragu A, Malberg H. Topical negative pressure wound therapy enhances the local tissue

perfusion - A pilot study. *Microvasc Res.* 2022 Mar;140:104301. doi: 10.1016/j.mvr.2021.104301. Epub 2021 Dec 28. PMID: 34971695.

37. Bourdillon N, Yazdani S, Schmitt L, Millet GP. Effects of COVID-19 lockdown on heart rate variability. *PLoS One.* 2020 Nov 12;15(11):e0242303. doi: 10.1371/journal.pone.0242303. PMID: 33180839; PMCID: PMC7660489.

38. Campen CLMCV, Rowe PC, Visser FC. Orthostatic Symptoms and Reductions in Cerebral Blood Flow in Long-Haul COVID-19 Patients: Similarities with Myalgic Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome. *Medicina (Kaunas).* 2021 Dec 24;58(1):28. doi: 10.3390/medicina58010028. PMID: 35056336; PMCID: PMC8778312.

39. Campen van CLMC, Rowe PC, Verheugt FWA, Visser FC. Influence of end-tidal CO₂ on cerebral blood flow during orthostatic stress in controls and adults with myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome. *Physiol Rep.* 2023 Sep;11(17):e15639. doi: 10.14814/phy2.15639. PMID: 37688420; PMCID: PMC10492011.

40. Carr JMJR. What is the point of cerebral blood flow? *J Physiol.* 2024 Feb;602(4):537-538. doi: 10.1113/JP286262. Epub 2024 Feb 7. PMID: 38323981.

41. Carvalho LB, Kramer S, Borschmann K, Chambers B, Thijs V, Bernhardt J. Cerebral haemodynamics with head position changes post-ischaemic stroke: A systematic review and meta-analysis. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2020 May 13;40(10):271678X20922457. doi: 10.1177/0271678X20922457. Epub ahead of print. PMID: 32404023; PMCID: PMC7786838.

42. Catai AM, Pastre CM, Godoy MF, Silva ED, Takahashi ACM, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Braz J Phys Ther.* 2020 Mar-Apr;24(2):91-102. doi: 10.1016/j.bjpt.2019.02.006. Epub 2019 Feb 26. PMID: 30852243; PMCID: PMC7082649.

43. Celant M, Toro EF, Bertaglia G, Cozzio S, Caleffi V, Valiani A, Blanco PJ, Müller LO. Modeling essential hypertension with a closed-loop mathematical model for the entire human circulation. *Int J Numer Method Biomed*

Eng. 2023 Nov;39(11):e3748. doi: 10.1002/cnm.3748. Epub 2023 Jul 5. PMID: 37408358.

44. Chakshu NK, Sazonov I, Nithiarasu P. Towards enabling a cardiovascular digital twin for human systemic circulation using inverse analysis. *Biomech Model Mechanobiol*. 2021 Apr;20(2):449-465. doi: 10.1007/s10237-020-01393-6. Epub 2020 Oct 16. PMID: 33064221; PMCID: PMC7979679.

45. Cheng AJ, Jude B, Lanner JT. Intramuscular mechanisms of overtraining. *Redox Biol*. 2020 Aug;35:101480. doi: 10.1016/j.redox.2020.101480. Epub 2020 Feb 26. PMID: 32179050; PMCID: PMC7284919.

46. Chernozub, A., Manolachi, V., Korobeynikov, G., Potop, V., Sherstiuk, L., Manolachi, V., Mihaila, I. Criteria for assessing the adaptive changes in mixed martial arts (MMA) athletes of strike fighting style in different training load regimes *PeerJ*, 2022, 10, art. no. e13827 <https://doi.org/10.7717/peerj.13827>

47. 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

48. Cheung CHY, Khaw ML, Tam VCW, Ying MTC, Lee SWY. Performance evaluation of a portable bioimpedance cardiac output monitor for measuring hemodynamic changes in athletes during a head-up tilt test. *J Appl Physiol* (1985). 2020 May 1;128(5):1146-1152. doi: 10.1152/jappphysiol.00822.2019. Epub 2020 Mar 26. PMID: 32213113.

49. Christou GA, Kouidi EJ, Anifanti MA, Sotiriou PG, Deligiannis AP. A novel strategy for evaluating tilt test in athletes with syncope. *Eur J Prev Cardiol*. 2016 Jun;23(9):1003-10. doi: 10.1177/2047487315600168. Epub 2015 Aug 12. PMID: 26268263.

50. Claassen JAHR, Thijssen DHJ, Panerai RB, Faraci FM. Regulation of cerebral blood flow in humans: physiology and clinical implications of autoregulation. *Physiol Rev*. 2021 Oct 1;101(4):1487-1559. doi: 10.1152/physrev.00022.2020. Epub 2021 Mar 26. PMID: 33769101; PMCID: PMC8576366.

51. Cooper PN, Sutton R. Tilt testing. *Pract Neurol*. 2023 Nov 23;23(6):493-500. doi: 10.1136/pn-2023-003749. PMID: 37726165.

52. Criqui MH, Matsushita K, Aboyans V, Hess CN, Hicks CW, Kwan TW, McDermott MM, Misra S, Ujueta F; American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention; Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology; Council on Cardiovascular Radiology and Intervention; Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Peripheral Vascular Disease; and Stroke Council. Lower Extremity Peripheral Artery Disease: Contemporary Epidemiology, Management Gaps, and Future Directions: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2021 Aug 31;144(9):e171-e191. doi: 10.1161/CIR.0000000000001005. Epub 2021 Jul 28. Erratum in: *Circulation*. 2021 Aug 31;144(9):e193. doi: 10.1161/CIR.0000000000001019. PMID: 34315230; PMCID: PMC9847212.

53. da Silva Novaes J, da Silva Telles LG, Monteiro ER, da Silva Araujo G, Vingren JL, Silva Panza P, Reis VM, Laterza MC, Vianna JM. Ischemic Preconditioning Improves Resistance Training Session Performance. *J Strength Cond Res*. 2021 Nov 1;35(11):2993-2998. doi: 10.1519/JSC.0000000000003532. PMID: 32224716.

54. D'Agata MN, Hoopes EK, Witman MA. Associations between noninvasive upper- and lower-limb vascular function assessments: extending the evidence to young women. *J Appl Physiol (1985)*. 2022 Oct 1;133(4):886-892. doi: 10.1152/japplphysiol.00177.2022. Epub 2022 Aug 25. PMID: 36007894; PMCID: PMC9529273.

55. D'Souza AW, Moore JP, Manabe K, Lawley JS, Washio T, Hissen SL, Sanchez B, Fu Q. The interactive effects of posture and biological sex on the control of muscle sympathetic nerve activity during rhythmic handgrip exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2024 Aug 1;327(2):R133-R144. doi: 10.1152/ajpregu.00055.2024. Epub 2024 May 20. PMID: 38766771.

56. Farina A, Fasano A, Rosso F. Modeling of vasomotion in arterioles. *J Theor Biol.* 2022 Jul 7;544:111124. doi: 10.1016/j.jtbi.2022.111124. Epub 2022 Apr 14. PMID: 35429550.
57. Favre ME, Lim V, Falvo MJ, Serrador JM. Cerebrovascular reactivity and cerebral autoregulation are improved in the supine posture compared to upright in healthy men and women. *PLoS One.* 2020 Mar 2;15(3):e0229049. doi: 10.1371/journal.pone.0229049. PMID: 32119678; PMCID: PMC7051088.
58. Ferguson RA, Mitchell EA, Taylor CW, Bishop DJ, Christiansen D. Blood-flow-restricted exercise: Strategies for enhancing muscle adaptation and performance in the endurance-trained athlete. *Exp Physiol.* 2021 Apr;106(4):837-860. doi: 10.1113/EP089280. Epub 2021 Feb 10. PMID: 33486814.
59. Fisher JT, Ciuha U, Mekjavić IB. The combined effects of temperature and posture on regional blood flow and haemodynamics. *J Therm Biol.* 2024 Jul;123:103937. doi: 10.1016/j.jtherbio.2024.103937. Epub 2024 Aug 3. PMID: 39111062.
60. Fitzgibbon-Collins LK, Noguchi M, Heckman GA, Hughson RL, Robertson AD. Acute reduction in cerebral blood velocity on supine-to-stand transition increases postural instability in young adults. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2019 Dec 1;317(6):H1342-H1353. doi: 10.1152/ajpheart.00360.2019. Epub 2019 Nov 1. PMID: 31674810.
61. Forte G, Troisi G, Pazzaglia M, Pascalis V, Casagrande M. Heart Rate Variability and Pain: A Systematic Review. *Brain Sci.* 2022 Jan 24;12(2):153. doi: 10.3390/brainsci12020153. PMID: 35203917; PMCID: PMC8870705.
62. Furrer R, Handschin C. Molecular aspects of the exercise response and training adaptation in skeletal muscle. *Free Radic Biol Med.* 2024 Oct;223:53-68. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2024.07.026. Epub 2024 Jul 24. PMID: 39059515.
63. Furrer R, Hawley JA, Handschin C. The molecular athlete: exercise physiology from mechanisms to medals. *Physiol Rev.* 2023 Jul 1;103(3):1693-

1787. doi: 10.1152/physrev.00017.2022. Epub 2023 Jan 5. PMID: 36603158; PMCID: PMC10110736.

64. Galizia G, Abete P. Usefulness of the tilt table test: A "geriatric" point of view. *J Am Geriatr Soc.* 2022 Nov;70(11):3296-3299. doi: 10.1111/jgs.18049. Epub 2022 Oct 17. PMID: 36254102; PMCID: PMC9827997.

65. Gibbons TD, Zuj KA, Prince CN, Kingston DC, Peterson SD, Hughson RL. Haemodynamic and cerebrovascular effects of intermittent lower-leg compression as countermeasure to orthostatic stress. *Exp Physiol.* 2019 Dec;104(12):1790-1800. doi: 10.1113/EP088077. Epub 2019 Oct 23. PMID: 31578774.

66. Gifford JR. Stretching-based vascular rehabilitation? it's not a stretch. *J Physiol.* 2020 Sep;598(17):3537-3538. doi: 10.1113/JP280278. Epub 2020 Jul 6. PMID: 32589259.

67. Glantz S.A. *Primer of biostatistics.* 7th edition, McGraw-Hill: Medical, New York, 2012, 320 p.

68. Gómez-Medina A, Lozano-Castillo A, Valencia S. Statistics, Cerebrovascular Reactivity, and Prior COVID-19. *AJR Am J Roentgenol.* 2023. 221(3):399. doi: 10.2214/AJR.23.29355.

69. Grégoire JM, Gilon C, Carlier S, Bersini H. Autonomic nervous system assessment using heart rate variability. *Acta Cardiol.* 2023 Aug;78(6):648-662. doi: 10.1080/00015385.2023.2177371. Epub 2023 Feb 21. PMID: 36803313.

70. Gronwald T, Schaffarczyk M, Hoos O. Orthostatic testing for heart rate and heart rate variability monitoring in exercise science and practice. *Eur J Appl Physiol.* 2024 Sep 11. doi: 10.1007/s00421-024-05601-4. Epub ahead of print. PMID: 39259398.

71. Groot HJ, Broxterman RM, Gifford JR, Garten RS, Rossman MJ, Jarrett CL, Kwon OS, Hydren JR, Richardson RS. Reliability of the passive leg movement assessment of vascular function in men. *Exp Physiol.* 2022 May;107(5):541-552. doi: 10.1113/EP090312. Epub 2022 Apr 5. PMID: 35294784; PMCID: PMC9058221.

72. Grubb BP, Temesy-Armos PN, Samoil D, Wolfe DA, Hahn H, Elliott L. Tilt table testing in the evaluation and management of athletes with recurrent exercise-induced syncope. *Med Sci Sports Exerc.* 1993 Jan;25(1):24-8. doi: 10.1249/00005768-199301000-00005. PMID: 8423753.

73. Halkar M, Medina Inojosa J, Liedl D, Wysokinski W, Houghton DE, Wennberg PW, Lin G, Kane G, Fischer K, Rooke TW, Saadiq R, Bonikowske A, McBane RD 2nd. Calf muscle pump function as a predictor of all-cause mortality. *Vasc Med.* 2020 Dec;25(6):519-526. doi: 10.1177/1358863X20953212. Epub 2020 Sep 25. PMID: 32975489.

74. Helmreich E. Statische und dynamische Pulsacceleration. *Z ges exp Med.* 1923 36:226–235

75. Hjortshoej MH, Aagaard P, Storgaard CD, Juneja H, Lundbye-Jensen J, Magnusson SP, Couppé C. Hormonal, immune, and oxidative stress responses to blood flow-restricted exercise. *Acta Physiol (Oxf).* 2023 Oct;239(2):e14030. doi: 10.1111/apha.14030. Epub 2023 Sep 21. PMID: 37732509; PMCID: PMC10909497.

76. Hnatkova K, Šišáková M, Smetana P, Toman O, Huster KM, Novotný T, Schmidt G, Malik M. Sex differences in heart rate responses to postural provocations. *Int J Cardiol.* 2019 Dec 15;297:126-134. doi: 10.1016/j.ijcard.2019.09.044. Epub 2019 Oct 7. PMID: 31611089; PMCID: PMC6926477.

77. Hoffman F (1740) De situ erecto in morbis periculosis valde noxio. *Opera Omnia Physico-Medica* 6:169–173

78. Hopkins SR, Stickland MK. The Pulmonary Vasculature. *Semin Respir Crit Care Med.* 2023 Oct;44(5):538-554. doi: 10.1055/s-0043-1770059. Epub 2023 Oct 10. PMID: 37816344; PMCID: PMC11192587.

79. Huertas JR, Ruiz-Ojeda FJ, Plaza-Díaz J, Nordsborg NB, Martín-Albo J, Rueda-Robles A, Casuso RA. Human muscular mitochondrial fusion in athletes during exercise. *FASEB J.* 2019 Nov;33(11):12087-12098. doi: 10.1096/fj.201900365RR. Epub 2019 Aug 9. PMID: 31398297.

80. Ida A, Sasaki K. Distinct adaptations of muscle endurance but not strength or hypertrophy to low-load resistance training with and without blood flow restriction. *Exp Physiol*. 2024 Jun;109(6):926-938. doi: 10.1113/EP091310. Epub 2024 Mar 19. PMID: 38502540; PMCID: PMC11140179.
81. Inbaraj G, Udupa K, Vasuki PP, Nalini A, Sathyaprabha TN. Resting heart rate variability as a diagnostic marker of cardiovascular dysautonomia in postural tachycardia syndrome. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 2022 Nov 11;34(1):103-109. doi: 10.1515/jbcpp-2022-0069. PMID: 36367272.
82. Ishikawa M, Miura H, Tamura Y, Murakami A. Effect of Electrical Muscle Stimulation on Vascular Endothelial Function during Prolonged Sitting. *Phys Ther Res*. 2022;25(3):127-133. doi: 10.1298/ptr.E10191. Epub 2022 Dec 22. PMID: 36819917; PMCID: PMC9910348.
83. Islam MT. Radiation interactions with biological systems. *Int J Radiat Biol*. 2017 ;93(5):487-493. doi: 10.1080/09553002.2017.1286050.
84. Jarmund AH, Ødegård SS, Torp H, Nyenes SA. Effects of tilt on cerebral hemodynamics measured by NeoDoppler in healthy neonates. *Pediatr Res*. 2021 Oct;90(4):888-895. doi: 10.1038/s41390-020-01354-w. Epub 2021 Jan 27. PMID: 33504967; PMCID: PMC8566239.
85. Jeknić V, Dopsaj M, Toskić L, Koropanovski N. Muscle Contraction Adaptations in Top-Level Karate Athletes Assessed by Tensiomyography. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Aug 19;19(16):10309. doi: 10.3390/ijerph191610309. PMID: 36011944; PMCID: PMC9408118.
86. 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.
87. Jimbo S, Fujita Y, Ishii W, Namiki H, Kato M, Komori A, Abe Y, Kamiyama H, Ayusawa M, Morioka I. Decreased Stroke Volume and Venous Return in School Children with Postural Tachycardia Syndrome. *Tohoku J Exp Med*. 2021 Mar;253(3):181-190. doi: 10.1620/tjem.253.181. PMID: 33731495.

88. Johansson M, Ricci F, Schulte J, Persson M, Melander O, Sutton R, Hamrefors V, Fedorowski A. Circulating levels of growth hormone in postural orthostatic tachycardia syndrome. *Sci Rep*. 2021 Apr 21;11(1):8575. doi: 10.1038/s41598-021-87983-5. PMID: 33883597; PMCID: PMC8060383.
89. Johnston BW, Barrett-Jolley R, Krige A, Welters ID. Heart rate variability: Measurement and emerging use in critical care medicine. *J Intensive Care Soc*. 2020 May;21(2):148-157. doi: 10.1177/1751143719853744. Epub 2019 Jun 11. PMID: 32489411; PMCID: PMC7238479.
90. Kacin A, Drobnič M, Marš T, Miš K, Petrič M, Weber D, Tomc Žargi T, Martinčič D, Pirkmajer S. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture. *Scand J Med Sci Sports*. 2021 Aug;31(8):1636-1646. doi: 10.1111/sms.13968. Epub 2021 Apr 26. PMID: 33837592.
91. Kadoguchi T, Horiuchi M, Kinugawa S, Okita K. Heterogeneity in the vasodilatory function of individual extremities. *Vascular*. 2020 Feb;28(1):87-95. doi: 10.1177/1708538119868411. Epub 2019 Aug 12. PMID: 31402786.
92. Kadoya Y, Miyati T, Kobayashi S, Ohno N, Gabata T. Evaluation of gravity effect on inferior vena cava and abdominal aortic flow using multi-posture MRI. *Acta Radiol*. 2021 Aug;62(8):1122-1128. doi: 10.1177/0284185120950112. Epub 2020 Aug 16. PMID: 32799558.
93. Katayama K, Barbosa TC, Kaur J, Young BE, Nandadeva D, Ogoh S, Fadel PJ. Muscle pump-induced inhibition of sympathetic vasomotor outflow during low-intensity leg cycling is attenuated by muscle metaboreflex activation. *J Appl Physiol* (1985). 2020 Jan 1;128(1):1-7. doi: 10.1152/jappphysiol.00639.2019. Epub 2019 Nov 14. PMID: 31725363.
94. Kenny RA, Ingram A, Bayliss J, Sutton R. Head-up tilt: a useful test for investigating unexplained syncope. *Lancet*. 1986. 1(8494):1352–1355
95. Khalilian MR, Ghasemi A, Khazaei N, Khoshkhou S, Mahmoudi E. Repolarization disparity as a predictor of response to Head up Tilt-table Test in

pediatric syncope. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2021 Aug;44(8):1397-1403. doi: 10.1111/pace.14305. Epub 2021 Jul 10. PMID: 34181271.

96. Khoo MCK, Chalacheva P. Respiratory modulation of peripheral vasoconstriction: a modeling perspective. *J Appl Physiol* (1985). 2019 Nov 1;127(5):1177-1186. doi: 10.1152/jappphysiol.00111.2019. Epub 2019 May 16. PMID: 31095465.

97. Kim MJ, Farrell J. Orthostatic Hypotension: A Practical Approach. *Am Fam Physician*. 2022 Jan 1;105(1):39-49. Erratum in: *Am Fam Physician*. 2022 Oct;106(4):365. PMID: 35029940.

98. Koehler RC. Regulation of the Cerebral Circulation During Development. *Compr Physiol*. 2021 Sep 23;11(4):2371-2432. doi: 10.1002/cphy.c200028. PMID: 34558670; PMCID: PMC9789530.

99. Koep JL, Taylor CE, Coombes JS, Bond B, Ainslie PN, Bailey TG. Autonomic control of cerebral blood flow: fundamental comparisons between peripheral and cerebrovascular circulations in humans. *J Physiol*. 2022 Jan;600(1):15-39. doi: 10.1113/JP281058. Epub 2021 Dec 10. PMID: 34842285.

100. Koivunen K, Löppönen A, Palmberg L, Rantalainen T, Rantanen T, Karavirta L. Autonomic nervous system and postural control regulation during orthostatic test as putative markers of physical resilience among community-dwelling older adults. *Exp Gerontol*. 2023 Oct 15;182:112292. doi: 10.1016/j.exger.2023.112292. Epub 2023 Sep 20. PMID: 37738781.

101. Koller A, Laughlin MH, Cenko E, de Wit C, Tóth K, Bugiardini R, Trifunovits D, Vavlukis M, Manfrini O, Lebach A, Dornyei G, Padro T, Badimon L, Tousoulis D, Gielen S, Duncker DJ. Functional and structural adaptations of the coronary macro- and microvasculature to regular aerobic exercise by activation of physiological, cellular, and molecular mechanisms: ESC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res*. 2022 Jan 29;118(2):357-371. doi: 10.1093/cvr/cvab246. PMID: 34358290; PMCID: PMC8803083.

102. Kouidi EJ, Kaltsatou A, Anifanti MA, Deligiannis AP. Early Left Ventricular Diastolic Dysfunction, Reduced Baroreflex Sensitivity, and Cardiac Autonomic Imbalance in Anabolic-Androgenic Steroid Users. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jun 29;18(13):6974. doi: 10.3390/ijerph18136974. PMID: 34209901; PMCID: PMC8295852.

103. Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I. Peculiarities of male and female heart rate variability // *Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences*. 2013. – Issue 15. – P.17-20.

104. Kovalenko Stanislav, Tsyhannyk Roman. Influence of the initial level of autonomic tone on the blood circulation of the lower extremities during tilt test // *Věda a perspektivy – 2024*. - № 8(39). - P. 255-261. (Стаття в міжнародному виданні країни Євросоюзу)

105. Kovalenko, S.A., Kudii, L.I. Heart rate variability in subjects with different respiratory rates. *Hum Physiol* (2006) 32: 742. doi:10.1134/S036211970606020X

106. Kubichek W.G., Patterson R.P., Wetsol D.A. Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1970. №2. P. 724-732.

107. Kulkarni N, Mody P, Levine BD. Abolish the Tilt Table Test for the Workup of Syncope! *Circulation*. 2020 Feb 4;141(5):335-337. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.043259. Epub 2020 Feb 3. PMID: 32011926.

108. Kumar A, Wright K, Uceda DE, Vasallo PA 3rd, Rabin PL, Adams D, Wong J, Das M, Lin SF, Chen PS, Everett TH 4th. Skin sympathetic nerve activity as a biomarker for syncopal episodes during a tilt table test. *Heart Rhythm*. 2020 May;17(5 Pt A):804-812. doi: 10.1016/j.hrthm.2019.10.008. Epub 2019 Oct 9. PMID: 31605791; PMCID: PMC7141961.

109. Kurosawa Y, Nirengi S, Tabata I, Isaka T, Clark JF, Hamaoka T. Effects of Prolonged Sitting with or without Elastic Garments on Limb Volume, Arterial Blood Flow, and Muscle Oxygenation. *Med Sci Sports Exerc*. 2022 Mar

1;54(3):399-407. doi: 10.1249/MSS.0000000000002822. PMID: 34711709; PMCID: PMC8830891.

110. Laborde S, Allen MS, Borges U, Dosseville F, Hosang TJ, Iskra M, Mosley E, Salvotti C, Spolverato L, Zammit N, Javelle F. Effects of voluntary slow breathing on heart rate and heart rate variability: A systematic review and a meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2022 Jul;138:104711. doi: 10.1016/j.neubiorev.2022.104711. Epub 2022 May 24. PMID: 35623448.

111. Lansdell TA, Chambers LC, Dorrance AM. Endothelial Cells and the Cerebral Circulation. *Compr Physiol.* 2022 Jun 29;12(3):3449-3508. doi: 10.1002/cphy.c210015. PMID: 35766836.

112. Latella C, Teo WP, Spathis J, van den Hoek D. Long-Term Strength Adaptation: A 15-Year Analysis of Powerlifting Athletes. *J Strength Cond Res.* 2020 Sep;34(9):2412-2418. doi: 10.1519/JSC.0000000000003657. PMID: 32865942; PMCID: PMC7448836.

113. Lattanzi S, Słomka A, Divani AA. Blood Pressure Variability and Cerebrovascular Reactivity. *Am J Hypertens.* 2023 ;36(1):19-20. doi: 10.1093/ajh/hpac114.

114. Laurin JKH, Oyewunmi OA, Garland EM, Gamboa A, Nwazue VC, Paranjape SY, Black BK, Okamoto LE, Shibao CA, Biaggioni I, Robertson D, Diedrich A, Dupont WD, Sheldon RS, Raj SR. Adrenal gland response to adrenocorticotrophic hormone is intact in patients with postural orthostatic tachycardia syndrome. *Auton Neurosci.* 2023 Sep;248:103105. doi: 10.1016/j.autneu.2023.103105. Epub 2023 Jun 24. PMID: 37393658; PMCID: PMC11409324.

115. Li R, Sugimoto K, Zhang X, Wang S, Liu H. Impacts of respiratory fluctuations on cerebral circulation: a machine-learning-integrated 0-1D multiscale hemodynamic model. *Physiol Meas.* 2023 Apr 3;44(3). doi: 10.1088/1361-6579/acc3d7. PMID: 36913728.

116. Lundby C, Hamarsland H, Hansen J, Bjørndal H, Berge SN, Hammarstöm D, Rønnestad BR. Hematological, skeletal muscle fiber, and exercise

performance adaptations to heat training in elite female and male cyclists. *J Appl Physiol* (1985). 2023 Jul 1;135(1):217-226. doi: 10.1152/jappphysiol.00115.2023. Epub 2023 Jun 1. PMID: 37262101.

117. Lutsenko OI, Kovalenko SO Blood pressure and hemodynamics: Mayer waves in different phases of ovarian and menstrual cycle in women.- *Physiological research*, 2017.66.Issue 2. 235-240.

118. Mahbub MH, Hiroshige K, Yamaguchi N, Hase R, Harada N, Tanabe T. A systematic review of studies investigating the effects of controlled whole-body vibration intervention on peripheral circulation. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2019 Nov;39(6):363-377. doi: 10.1111/cpf.12589. Epub 2019 Jul 29. PMID: 31278826.

119. Margos NP, Margos PN, Velegaki IE, Barbatzas NP, Filippou KS, Kranidis AI. Extreme heart rhythm alteration during a head-up tilt test. *Hellenic J Cardiol*. 2020 May-Jun;61(3):224-225. doi: 10.1016/j.hjc.2019.11.003. Epub 2019 Nov 15. PMID: 31740361.

120. Marume K, Mugele H, Ueno R, Amin SB, Lesmana HS, Possnig C, Hansen AB, Simpson LL, Lawley JS. The impact of leg position on muscle blood flow and oxygenation during low-intensity rhythmic plantarflexion exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2023 May;123(5):1091-1099. doi: 10.1007/s00421-022-05117-9. Epub 2023 Jan 16. PMID: 36645478; PMCID: PMC10119266.

121. Matsuo N, Matsuo S, Nakamura Y, Ezomo FO, Kawai Y. Regulatory effects of cervical sympathetic trunk and renal sympathetic nerve activities on cerebral blood flow during head-down postural rotations. *Auton Neurosci*. 2020 Dec;229:102738. doi: 10.1016/j.autneu.2020.102738. Epub 2020 Nov 4. PMID: 33197695.

122. McDermott MM, Dayanidhi S, Kosmac K, Saini S, Slysz J, Leeuwenburgh C, Hartnell L, Sufit R, Ferrucci L. Walking Exercise Therapy Effects on Lower Extremity Skeletal Muscle in Peripheral Artery Disease. *Circ Res*. 2021 Jun 11;128(12):1851-1867. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.121.318242. Epub 2021 Jun 10. PMID: 34110902.

123. Messina A, Uryga A, Giardina A, Ciliberti P, Battaglini D, Patroniti N, Czosnyka M, Monnet X, Cecconi M, Robba C. The effect of passive leg raising test on intracranial pressure and cerebral autoregulation in brain injured patients: a physiological observational study. *Crit Care*. 2024 Jan 16;28(1):23. doi: 10.1186/s13054-023-04785-z. PMID: 38229147; PMCID: PMC10790469.
124. Minaev B. P., Kovalenko S. O., Kudii L. I., Rybalko A. V. Wave structure of hemodynamic parameters in people with the different baseline level of cardiac output and the blood supply of the thorax organs. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*, 2019 (2), 37-45.
125. Molbo L, Hansen RK, Østergaard LR, Frøkjær JB, Larsen RG. Sex differences in microvascular function across lower leg muscles in humans. *Microvasc Res*. 2022 Jan;139:104278. doi: 10.1016/j.mvr.2021.104278. Epub 2021 Nov 10. PMID: 34774583.
126. Mulser L, Moreau D. Effect of acute cardiovascular exercise on cerebral blood flow: A systematic review. *Brain Res*. 2023 Jun 15;1809:148355. doi: 10.1016/j.brainres.2023.148355. Epub 2023 Mar 30. PMID: 37003561.
127. Nahirniak V, Kusniak N, Kashperuk-Karpiuk I, Andrushchak L, Protsak T, Pentelejchuk N. Studying Changes of the Effective Radius in Blood Vessels after Exposure of Lower Extremities to Periodical Mechanical Vibrations. *J Biomed Phys Eng*. 2019 Dec 1;9(6):673-678. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.1168. PMID: 32039098; PMCID: PMC6943842.
128. Namani R, Lee LC, Lanir Y, Kaimovitz B, Shavik SM, Kassab GS. Effects of myocardial function and systemic circulation on regional coronary perfusion. *J Appl Physiol (1985)*. 2020 May 1;128(5):1106-1122. doi: 10.1152/jappphysiol.00450.2019. Epub 2020 Feb 20. PMID: 32078466; PMCID: PMC7272755.
129. Nardone M, Guzman J, Harvey PJ, Floras JS, Edgell H. Effect of a neck compression collar on cardiorespiratory and cerebrovascular function in postural orthostatic tachycardia syndrome (POTS). *J Appl Physiol (1985)*. 2020

Apr 1;128(4):907-913. doi: 10.1152/jappphysiol.00040.2020. Epub 2020 Mar 12. PMID: 32163327.

130. Niccolini G, Manuello A, Capone A, Marongiu G, Dell'Osa AH, Fois A, Velluzzi F, Concu A. Possible Assessment of Calf Venous Pump Efficiency by Computational Fluid Dynamics Approach. *Front Physiol.* 2020 Sep 8;11:1003. doi: 10.3389/fphys.2020.01003. PMID: 33013438; PMCID: PMC7510250.

131. Nickolay T, Nichols S, Ingle L, Hoye A. Exercise Training as a Mediator for Enhancing Coronary Collateral Circulation: A Review of the Evidence. *Curr Cardiol Rev.* 2020;16(3):212-220. doi: 10.2174/1573403X15666190819144336. PMID: 31424373; PMCID: PMC7536817.

132. Nilsson D, Sutton R, Tas W, Burri P, Melander O, Fedorowski A (2015) Orthostatic changes in hemodynamics and cardiovascular biomarkers in dysautonomic patients. *PLoS One* 10(6):e0128962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128962>

133. Normahani P, Khosravi S, Sounderajah V, Aslam M, Standfield NJ, Jaffer U. The Effect of Lower Limb Revascularization on Flow, Perfusion, and Systemic Endothelial Function: A Systematic Review. *Angiology.* 2021 Mar;72(3):210-220. doi: 10.1177/0003319720969543. Epub 2020 Nov 4. PMID: 33143447; PMCID: PMC7859678.

134. Nuzzo JL. History of Strength Training Research in Man: An Inventory and Quantitative Overview of Studies Published in English Between 1894 and 1979. *J Strength Cond Res.* 2021 May 1;35(5):1425-1448. doi: 10.1519/JSC.0000000000003959. PMID: 33629976.

135. Ovsenik A, Podbregar M, Fabjan A. Cerebral blood flow impairment and cognitive decline in heart failure. *Brain Behav.* 2021 Jun;11(6):e02176. doi: 10.1002/brb3.2176. Epub 2021 May 14. PMID: 33991075; PMCID: PMC8213942.

136. Oyake K, Murayama J, Tateishi T, Mochida A, Matsumoto M, Tsujikawa M, Kondo K, Otaka Y, Momose K. Comparison of the sit-up test and

head-up tilt test for assessing blood pressure and hemodynamic responses in healthy young individuals. *Blood Press Monit.* 2022 Apr 1;27(2):79-86. doi: 10.1097/MBP.0000000000000570. PMID: 34629377; PMCID: PMC8893123.

137. Pham T, Lau ZJ, Chen SHA, Makowski D. Heart Rate Variability in Psychology: A Review of HRV Indices and an Analysis Tutorial. *Sensors (Basel)*. 2021 Jun 9;21(12):3998. doi: 10.3390/s21123998. PMID: 34207927; PMCID: PMC8230044.

138. Pignanelli C, Christiansen D, Burr JF. Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *J Appl Physiol (1985)*. 2021 Apr 1;130(4):1163-1170. doi: 10.1152/jappphysiol.00982.2020. Epub 2021 Feb 18. PMID: 33600282.

139. Qohar UNA, Zanna Munthe-Kaas A, Nordbotten JM, Hanson EA. A nonlinear multi-scale model for blood circulation in a realistic vascular system. *R Soc Open Sci.* 2021 Dec 1;8(12):201949. doi: 10.1098/rsos.201949. PMID: 34966547; PMCID: PMC8633777.

140. Ren W, Duan Y, Jan YK, Li J, Liu W, Pu F, Fan Y. Effect of intermittent pneumatic compression with different inflation pressures on the distal microvascular responses of the foot in people with type 2 diabetes mellitus. *Int Wound J.* 2022 Aug;19(5):968-977. doi: 10.1111/iwj.13693. Epub 2021 Sep 15. PMID: 34528370; PMCID: PMC9284627.

141. Resmi VL, Sriya RG, Selvaganesan N. Baroreflex control model for cardiovascular system subjected to postural changes under normal and orthostatic conditions. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2023 Sep;26(9):1034-1043. doi: 10.1080/10255842.2022.2104123. Epub 2022 Jul 28. PMID: 35901287.

142. Riberholt CG, Olsen MH, Berg RMG, Mehlsen J, Møller K. Dynamic cerebral autoregulation during early orthostatic exercise in patients with severe traumatic brain injury: Further exploratory analyses from a randomized clinical feasibility trial. *J Clin Neurosci.* 2021 Oct;92:39-44. doi: 10.1016/j.jocn.2021.07.047. Epub 2021 Aug 3. PMID: 34509259.

143. Ross M, Kargl CK, Ferguson R, Gavin TP, Hellsten Y. Exercise-induced skeletal muscle angiogenesis: impact of age, sex, angiocrines and cellular mediators. *Eur J Appl Physiol*. 2023 Jul;123(7):1415-1432. doi: 10.1007/s00421-022-05128-6. Epub 2023 Jan 30. PMID: 36715739; PMCID: PMC10276083.
144. Ruggiero L, Hoiland RL, Hansen AB, Ainslie PN, McNeil CJ. High-Altitude Acclimatization Improves Recovery from Muscle Fatigue. *Med Sci Sports Exerc*. 2020 Jan;52(1):161-169. doi: 10.1249/MSS.0000000000002100. PMID: 31343519.
145. Saal DP, Thijs RD, van Dijk JG (2016) Tilt table testing in neurology and clinical neurophysiology. *Clin Neurophysiol* 127:1022–1030 <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.07.037>
146. Sammut MJ, D'Souza AW. Resistance towards endurance training-mediated skeletal muscle mitochondrial adaptations: implications for individuals with type 1 diabetes mellitus. *J Physiol*. 2023 Nov;601(21):4665-4666. doi: 10.1113/JP285685. Epub 2023 Oct 7. PMID: 37804115.
147. Scarfò G, Daniele S, Chelucci E, Rizza A, Fusi J, Freggia G, Costa B, Taliani S, Artini P, Martini C, Franzoni F. Regular exercise delays microvascular endothelial dysfunction by regulating antioxidant capacity and cellular metabolism. *Sci Rep*. 2023 Oct 17;13(1):17671. doi: 10.1038/s41598-023-44928-4. PMID: 37848614; PMCID: PMC10582030.
148. Segreti A, Picarelli F, DI Gioia G, Coletti F, Crispino SP, Fanale V, Fossati C, Antonelli Incalzi R, Pigozzi F, Grigioni F. Athlete's heart or heart disease in the athlete? Evaluation by cardiopulmonary exercise testing. *J Sports Med Phys Fitness*. 2023 Jul;63(7):873-890. doi: 10.23736/S0022-4707.23.14536-1. Epub 2023 Mar 23. PMID: 36951176.
149. Sevoz-Couche C, Laborde S. Heart rate variability and slow-paced breathing:when coherence meets resonance. *Neurosci Biobehav Rev*. 2022 Apr;135:104576. doi: 10.1016/j.neubiorev.2022.104576. Epub 2022 Feb 12. PMID: 35167847.

150. Shah B, Kunal S, Bansal A, Jain J, Poundrik S, Shetty MK, Batra V, Chaturvedi V, Yusuf J, Mukhopadhyay S, Tyagi S, Meenahalli Palleda G, Gupta A, Gupta MD. Heart rate variability as a marker of cardiovascular dysautonomia in post-COVID-19 syndrome using artificial intelligence. *Indian Pacing Electrophysiol J.* 2022 Mar-Apr;22(2):70-76. doi: 10.1016/j.ipej.2022.01.004. Epub 2022 Jan 29. PMID: 35101582; PMCID: PMC8800539.

151. Shannon CA, Pike KL, Dejonge SR, Nagelkirk PR, Del Pozzi AT. Head Trauma not Associated with Long Term Effects on Autonomic Function. *Int J Exerc Sci.* 2021 Aug 1;14(3):779-790. PMID: 34567359; PMCID: PMC8439690.

152. Shesterina D.V., Palamarchuk A.L., Kovalenko S.O. The effect of low-intensity intermittent pneumatic compression in persons with different types of regulation of the autonomic nervous system on central hemodynamics. *Fiziol. Zh.* 2023; 69(3): 92-98. DOI: <https://doi.org/10.15407/fz69.03.092>

153. Shoemaker LN, Sajid A, Schondorf R, Shoemaker JK. Rapid changes in cerebrovascular compliance during vasovagal syncope. *Clin Auton Res.* 2024 Jun;34(3):353-361. doi: 10.1007/s10286-024-01046-z. Epub 2024 Jun 26. PMID: 38926194.

154. Smith EC, Celedonio J, Nwazue VC, Garland EM, Paranjape SY, Chopoorian AH, Wahba A, Biaggioni I, Black B, Shibao CA, Diedrich A, Okamoto LE, Raj SR, Gamboa A. High-sodium diet does not worsen endothelial function in female patients with postural tachycardia syndrome. *Clin Auton Res.* 2021 Aug;31(4):563-571. doi: 10.1007/s10286-021-00772-y. Epub 2021 Mar 10. PMID: 33689063; PMCID: PMC8295180.

155. Smith JJ, Porth CM, Erickson M. Hemodynamic response to the upright posture. *J Clin Pharmacol.* 1994. 34:375–386 doi/10.1002/j.1552-4604.1994.tb04977.x

156. Smith NDW, Scott BR, Girard O, Peiffer JJ. Aerobic Training With Blood Flow Restriction for Endurance Athletes: Potential Benefits and Considerations of Implementation. *J Strength Cond Res.* 2022 Dec 1;36(12):3541-3550. doi: 10.1519/JSC.0000000000004079. Epub 2021 Jun 28. PMID: 34175880.

157. Søndergaard S. Observational study on passive leg raising and the autonomic nervous system. *Physiol Rep.* 2022 Dec;10(24):e15537. doi: 10.14814/phy2.15537. PMID: 36541245; PMCID: PMC9768665.
158. Sprangers RL, Wesseling KH, Imholz AL, Imholz BP, Wieling W (1985) Initial blood pressure fall on stand up and exercise explained by changes in total peripheral resistance. *J Appl Physiol* 70:523–530 <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.2.523>
159. Suarez J, Busse LW. New strategies to optimize renal haemodynamics. *Curr Opin Crit Care.* 2020 Dec;26(6):536-542. doi: 10.1097/MCC.0000000000000774. PMID: 33044238.
160. 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. Tilt testing remains a valuable asset. *Eur Heart J.* 2021. № 42 (17). P. 1654–1660. doi: 10.1093/eurheartj/ehab084
161. Taboni A, Fagoni N, Fontolliet T, Moia C, Vinetti G, Ferretti G. A closed-loop approach to the study of the baroreflex dynamics during posture changes at rest and at exercise in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2021 Dec 1;321(6):R960-R968. doi: 10.1152/ajpregu.00167.2021. Epub 2021 Oct 13. PMID: 34643104.
162. Tanaka H, Sjöberg BJ, Thulesius O. Cardiac output and blood pressure during active and passive standing. *Clin Physiol.* 1996. - 16:157–170 <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.1996.tb00565.x>
163. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability / Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use // *Circulation.* - 1996. - V. 93. - P. 1043-1065.
164. Thomas KN, Akerman AP, Gibbons TD, Campbell HA, Cotter JD, van Rij AM. The athlete's vein: venous adaptations in the lower limbs of endurance athletes. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2023 Jul 1;325(1):H66-H76. doi: 10.1152/ajpheart.00175.2023. Epub 2023 May 12. PMID: 37172076.

165. Thompson WO, Thompson PK, Dailey ME. The effect of posture upon the composition and volume of the blood in man. *J Clin Invest.* 1928. - 5:573–604
166. 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. doi: 10.2174/1573403X16999201231203854. PMID: 33390146; PMCID: PMC8950456.
167. Tomazin K, Almeida F, Stirn I, Padiál P, Bonitch-Góngora J, Morales-Artacho AJ, Strojnik V, Feriche B. Neuromuscular Adaptations after an Altitude Training Camp in Elite Judo Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jun 24;18(13):6777. doi: 10.3390/ijerph18136777. PMID: 34202491; PMCID: PMC8296934.
168. Turner AH, Newton MI, Haynes FW. The circulatory reaction to gravity in healthy young women. *Am J Physiol.* – 1930. - 94:507–520
169. Yukhymenko L, Makarchuk M, Imas Y, Shcherbashyn Y, Korobeynikov L, Dutchak M. Link between brain circulation and nervous mobility of athletes and non-athletes during the orthostatic test. *Journal of Physical Education and Sport,* 2020. - 20 (6), 3660 – 3670. <https://doi.org/10.7752/jpes.2020.06493>
170. Venturelli M, Rossman MJ, Ives SJ, Weavil JC, Amann M, Wray DW, Richardson RS. Passive leg movement-induced vasodilation and exercise-induced sympathetic vasoconstriction. *Auton Neurosci.* 2022 May;239:102969. doi: 10.1016/j.autneu.2022.102969. Epub 2022 Mar 4. PMID: 35259576; PMCID: PMC9044344.
171. Vescovi JD. Intra-Individual Variation of HRV during Orthostatic Challenge in Elite Male Field Hockey Players. *J Med Syst.* 2019 Oct 27;43(12):328. doi: 10.1007/s10916-019-1478-z. PMID: 31655934.
172. Vissing K, Groennebaek T, Wernbom M, Aagaard P, Raastad T. Myocellular Adaptations to Low-Load Blood Flow Restricted Resistance Training.

Exerc Sport Sci Rev. 2020 Oct;48(4):180-187. doi: 10.1249/JES.0000000000000231. PMID: 32658044.

173. Wahl P, Bloch W, Proschinger S. The Molecular Signature of High-intensity Training in the Human Body. *Int J Sports Med.* 2022 Mar;43(3):195-205. doi: 10.1055/a-1551-9294. Epub 2021 Oct 12. PMID: 34265857; PMCID: PMC8885329.

174. Wang B, Wang Y, Sun Z, Liu H, Ren W, Li R, Wu G, Fan Y. Multiple blood flow surges during intermittent pneumatic compression: The origins and their implications. *J Biomech.* 2022 Oct;143:111264. doi: 10.1016/j.jbiomech.2022.111264. Epub 2022 Aug 24. PMID: 36055052.

175. Wang J, Zhang Q, Chen W, Fu H, Zhang M, Fan Y. The effect of flywheel complex training with eccentric-overload on muscular adaptation in elite female volleyball players. *PeerJ.* 2024 Mar 21;12:e17079. doi: 10.7717/peerj.17079. PMID: 38525282; PMCID: PMC10961060.

176. 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

177. Wieling W, Krediet CT, van Dijk N, Linzer M, Tschakovsky ME (2007) Initial orthostatic hypotension: review of a forgotten condition. *Clin Sci (Lond)* 112:157–165 <https://doi.org/10.1042/CS20060091>

178. Wong ET, Kapadia A, Krishnamurthy V, Mikulis DJ. Cerebrovascular Reactivity and Concussion. *Neuroimaging Clin N Am.* 2023 May;33(2):335-342. doi: 10.1016/j.nic.2023.01.008. Epub 2023 Feb 26. PMID: 36965950.

179. You M, Liu Y, Wang B, Li L, Zhang H, He H, Zhou Q, Cao T, Wang L, Zhao Z, Zhu Z, Gao P, Yan Z. Asprosin induces vascular endothelial-to-mesenchymal transition in diabetic lower extremity peripheral artery disease. *Cardiovasc Diabetol.* 2022 Feb 15;21(1):25. doi: 10.1186/s12933-022-01457-0. PMID: 35168605; PMCID: PMC8848671.

180. Yuan Y, Dong M, Wen S, Yuan X, Zhou L. Retinal microcirculation: A window into systemic circulation and metabolic disease. *Exp Eye Res.* 2024

May;242:109885. doi: 10.1016/j.exer.2024.109885. Epub 2024 Apr 3. PMID: 38574944.

181. Zavorodnia V. A., Androshchuk O. I., Kharchenko T. H., Kudii L. I., Kovalenko S. O. Haemodynamic effects of hyperventilation on healthy men with different levels of autonomic tone. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2020. 11(1), 13-21.

182. Zhang Y, Zhou B, Qiu J, Zhang L, Zou Z. Heart rate variability changes in patients with panic disorder. *J Affect Disord*. 2020 Apr 15;267:297-306. doi: 10.1016/j.jad.2020.01.132. Epub 2020 Jan 25. PMID: 32217230.

183. Ziegler L, Hedin U, Gottsäter A. Circulating Biomarkers in Lower Extremity Artery Disease. *Eur Cardiol*. 2022 Mar 23;17:e09. doi: 10.15420/ecr.2021.58. PMID: 35401792; PMCID: PMC8978021.

184. Zouita A, Darragi M, Bouselmi M, Sghaeir Z, Clark CCT, Hackney AC, Granacher U, Zouhal H. The Effects of Resistance Training on Muscular Fitness, Muscle Morphology, and Body Composition in Elite Female Athletes: A Systematic Review. *Sports Med*. 2023 Sep;53(9):1709-1735. doi: 10.1007/s40279-023-01859-4. Epub 2023 Jun 8. PMID: 37289331; PMCID: PMC10432341.