

Взаємозв'язок показників центральної гемодинаміки та компонентного складу тіла з функціональним станом нейровегетативної регуляції в чоловіків молодого віку

О. П. Крічфалушій^{ID} *^{A,C,D}, М. І. Немеш^{ID} ^{B,E}, Я. І. Сливка^{ID} ^{D,E}, Ю. М. Савка^{ID} ^{D,E},
О. С. Паламарчук^{ID} ^B, В. П. Фекета^{ID} ^F

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Мета роботи – вивчити взаємозв'язок між параметрами центральної гемодинаміки та компонентного складу тіла, враховуючи вихідний функціональний стан нейровегетативної регуляції за показником активності регуляторних систем (ПАРС), у чоловіків молодого віку.

Матеріали і методи. Обстежили 44 особи чоловічої статі, яких поділили на 3 групи за показником активності регуляторних систем (ПАРС). До першої групи залучили 26 осіб з оптимальним рівнем напруження регуляторних систем (РС); до другої та третьої – по 9 осіб із помірним і вираженим напруженням РС відповідно. За допомогою програмно-апаратного комплексу «РеоКом» (м. Харків) визначили показники серцевої діяльності. Компонентний склад тіла оцінили, застосувавши апаратно-програмний комплекс «ТАНИТА ВС-601» (Японія). Для визначення функціонального стану автономної нервової системи використали комп'ютерно-діагностичний комплекс «КАРДІОЛАБ» (м. Харків).

Результати. У результаті дослідження показники гемодинаміки встановили, що більшість із них вищі в осіб із помірним і вираженим напруженням регуляторних систем порівняно з обстеженими з оптимальним рівнем. Так, чоловіки з переважанням симпатичного домену автономної регуляції мали найвищі показники нагнітальної функції серця, а в обстежених зі збалансованою активністю ланок автономної регуляції ці параметри найнижчі. Щодо показників загального периферичного опору та питомого периферичного опору встановили іншу тенденцію: найвищі параметри – в осіб із зрівноваженим станом автономної нервової регуляції, найнижчі – з переважанням симпатичного тону. Встановлено тісні кореляційні зв'язки між наростанням рівня напруження регуляторних механізмів і показниками кардіогемодинаміки.

У результаті аналізу показників компонентного складу тіла виявили, що у групах обстежених із помірним і вираженим напруженням РС зафіксовано вірогідне збільшення індексу маси тіла, вмісту загального жиру та вмісту вісцерального жиру. Крім того, визначено кореляційні зв'язки між ПАРС і компонентним складом тіла.

Висновки. Розподіл обстежених на групи залежно від ПАРС дав змогу встановити, що при збільшенні напруження механізмів регуляції зростає навантаження на серцево-судинну систему. На це вказували вищі показники центральної гемодинаміки. В осіб з оптимальним рівнем функціонування РС діяльність серцево-судинної системи є оптимальною та менш енергозатратною.

Ключові слова:

варіабельність серцевого ритму, показник активності регуляторних систем, автономна нервова система, центральна гемодинаміка, ожиріння, компонентний склад тіла.

Запорізький медичний журнал.
2024. Т. 26, № 4(145).
С. 275-281

*E-mail:
oksanakentesh@gmail.com

Relationship between central hemodynamic parameters and body composition and the functional state of neuro-autonomic regulation in young men

O. P. Krichfalushii, M. I. Nemesh, Ya. I. Slyvka, Yu. M. Savka, O. S. Palamarchuk, V. P. Feketa

The aim of the study is to examine the relationship between central hemodynamic parameters and body composition by considering baseline functional state of neuro-autonomic regulation according to the index of regulatory system activity (IRSA) in young men.

Material and methods. A total of 44 male participants were divided into three groups based on the IRSA level. The first group included 26 men with an optimal IRSA level. The second and third groups, each of 9 men, with moderate and high IRSA levels, respectively. The functional state of cardiovascular system was assessed using a device "REOKOM" (Kharkiv). The measurement of body composition was performed by weight-scale "TANITA BC-601" (Japan). The functional state of autonomic nervous system was assessed using a device "CARDIOLAB" (Kharkiv).

Results. Our results have demonstrated higher hemodynamic parameters in men with moderate and high level of IRSA. Men with elevated level of sympathetic activity had the highest indices of the pumping function of the heart, and those with the balance between parasympathetic and sympathetic branches had the lowest indices of the pumping heart function. As for the indicators of total peripheral resistance and specific peripheral resistance, another trend was seen, namely, individuals with a balanced state of autonomic nervous regulation had the highest parameters, and those with a predominance of sympathetic tone had the lowest ones. Close correlations have been found between increased levels of regulatory mechanism tension and cardiohemodynamic parameters.

An indicator analysis of the body component composition has revealed a significant increase in body mass index, total and visceral fat content in the examined groups with moderate and severe regulatory system tension. In addition, correlations have been found between IRSA and constituting components of body composition.

Keywords:

heart rate variability, index of regulation system activity, autonomic nervous system, hemodynamics, obesity, body composition.

Zaporozhye Medical Journal.
2024;26(4):275-281

Conclusions. The group assignment of the examined individuals according to IRSA has shown that a high tension of the regulatory mechanisms increased the load on the cardiovascular system, as indicated by higher indicators of central hemodynamics. In individuals with an optimal level of regulatory system functioning, the cardiovascular system activity is optimal and less energy consuming.

Протягом останніх років чимало досліджень присвячують ролі вегетативних дисфункцій у розвитку соматичних розладів, зокрема гемодинамічних і метаболічних порушень. Дослідники вказують на важливу роль вегетативних дисфункцій у патогенезі артеріальної гіпертензії, дисліпідемії, інсулінорезистентності, ожиріння тощо [1,2]. Відомо, що і симпатична (СНС), і парасимпатична нервова система забезпечують складний гомеостатичний контроль у координації катаболічних та анаболічних процесів [3]. Автономна нервова система (АНС) відіграє центральну роль у зв'язку між центральною нервовою системою (ЦНС) і шлунково-кишковим трактом у коротко- і довгостроковій регуляції маси тіла, оскільки аферентні волокна блукаючого нерва беруть участь у передачі інформації від гормонів кишківника до ЦНС. АНС забезпечує також регуляцію енергетичного обміну. У людини енергія зберігається переважно в білій жировій тканині, звідки може бути мобілізована передусім шляхом активації з боку СНС. Крім того, СНС може збільшувати витрати енергії, впливаючи на термогенез бурої жирової тканини та на серцево-судинну систему, що модулюється лептином [4]. Проте надмірна симпатична активність не спричиняє витрати енергії, а отже й втрату маси тіла. З іншого боку, втрата маси тіла здатна повернути назад метаболічні зміни та зміни з боку АНС, пов'язані з ожирінням [5].

Відомо, що СНС забезпечує підтримання артеріального тиску через регуляцію серцевого викиду та периферичного судинного опору, проте надмірна симпатергічна активація спричиняє розгортання низки патофізіологічних механізмів, що лежать в основі розвитку та прогресування есенціальної гіпертензії, зокрема при ожирінні.

Ожиріння супроводжується підвищеною захворюваністю та смертністю, що пов'язана передусім із серцево-судинними захворюваннями та є складною проблемою для світової охорони здоров'я [6,7]. Є дані, що майже 75 % випадків артеріальної гіпертензії безпосередньо пов'язані з ожирінням [8]. Так, автори вказують на наявність кореляційних зв'язків між центральним ожирінням і гіпертонією, дисліпідемією на фоні тривалої високої активності АНС [9]. У дослідженні Т. Smoljo et al. виявлено зв'язок між вищою симпатичною активністю, систолічним артеріальним тиском і підвищеним вмістом жирової тканини за даними індексу маси тіла (ІМТ), окружностей стегон і талії у молодих здорових людей [10]. У публікації S. Hillebrand et al. повідомили, що збільшення ІМТ у здорових людей корелює з підвищенням симпатичної та зниженням парасимпатичної активності [11].

Втім окремі дослідники припускають, що надмірне накопичення енергії при ожирінні відбувається внаслідок зниження симпатичної активності паралельно зі зниженням парасимпатичної активності, що водночас захищає від надмірного збільшення маси тіла [12]. Згідно з висновками іншої групи дослідників, СНС має значний вплив на метаболізм жирів, і ожиріння може бути пов'язане і з підвищеною, і зі зниженою активністю СНС [13].

Експериментальні й епідеміологічні дослідження останніх років показали кореляцію між АНС і складом тіла [7]. Так, у дослідженні Selma Cvijetic et al. показано: учасники з більшою жировою та меншою м'язовою масою мали гіршу парасимпатичну активність [14].

Виходячи з наведених даних, модуляція АНС може індукувати втрату маси тіла та знизити ризики серцево-судинної патології у пацієнтів з ожирінням.

Стандартом діагностики функціональної активності АНС та адаптаційних можливостей організму нині вважають оцінювання показників варіабельності серцевого ритму (ВСР) [15]. Втім, окремі автори пропонують використовувати показник активності регуляторних систем (ПАРС) як інтегральний критерій визначення стану і ступеня напруження регуляторних систем організму, зокрема АНС, який включає низку параметрів ВСР [16]. Так, за ПАРС розрізняють рівні напруження функціональних механізмів регуляції та адаптаційних резервів організму.

У доступній науковій літературі не виявили відомостей щодо зв'язку показників центральної гемодинаміки, компонентного складу тіла та функціонального стану нейровегетативної регуляції, враховуючи ПАРС. Це стало предметом дослідження, що здійснили, адже імовірна наявність такого зв'язку дасть змогу визначити можливі кардіометаболічні ризики, особливо в осіб зі зміненим складом тіла.

Мета роботи

Вивчити взаємозв'язок між параметрами центральної гемодинаміки та компонентного складу тіла, враховуючи вихідний функціональний стан нейровегетативної регуляції за ПАРС, у чоловіків молодого віку.

Матеріали і методи дослідження

Здійснили комплексне обстеження 44 осіб чоловічої статі, їхній середній вік становив $21,64 \pm 2,39$ року. На час обстеження учасники експерименту не мали скарг на стан здоров'я, у їхньому анамнезі не зафіксовані хронічні захворювання. Дослідження здійснили на базі медичного факультету № 2 ДВНЗ «Ужгородський національний університет» з дотриманням етичних принципів медичних досліджень за участі людини в якості об'єкта дослідження.

За допомогою програмно-апаратного комплексу «РЕОКОМ» (Національний аерокосмічний університет «ХАІ», НТЦ радіоелектронних медичних приладів і технологій «ХАІ-МЕДИКА», м. Харків) вивчили показники скоротливої функції серця та гемодинаміки шляхом запису грудної реографії за методикою В. Кубічека. Для оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи використали такі показники: частоту серцевих скорочень за одну хвилину (ЧСС, уд./хв), середній артеріальний тиск (САТ, мм рт. ст.), хвилинний об'єм крові (ХОК, л/хв), ударний індекс (УІ, мл/м²), ударний об'єм

крові (УО, мл), серцевий індекс (СІ, л/хв/м²), загальний периферичний опір судин (ЗПОС, дин·с·см⁻⁵), питомих периферичний опір (ППО, дин·с·м²·см⁻⁵), потужність лівого шлуночка (ПЛШ, Вт), роботу лівого шлуночка (РЛШ, кг/м) та індекс роботи лівого шлуночка (ІРЛШ, кг·м/м²).

Для оцінювання функціонального стану АНС застосували комп'ютерно-діагностичний комплекс «КАРДІО-ЛАБ» виробництва «ХАІ-МЕДИКА» з функцією аналізу варіабельності серцевого ритму. ВСР вивчали в кілька етапів. Так, спочатку реєстрували короткі записи електрокардіографічного сигналу в другому стандартному відведенні тривалістю 5 хвилин. Потім вимірювали інтервали між R-зубцями моніторної електрокардіограми (RR-інтервали), будували динамічний ряд кардіоінтервалів з наступним аналізом отриманої ритмограми математичними методами.

Стан автономної нервової системи та механізмів регуляції оцінювали за допомогою статистичних і спектральних показників, що рекомендовані Робочою групою Європейського кардіологічного товариства і Північноамериканського товариства кардіостимуляції та електрофізіології [17].

Крім встановлення стандартних показників ВСР, визначали параметр активності регуляторних систем, що дає змогу встановити типологічні особливості вегетативної регуляції серцевого ритму, рівень функціональних та адаптаційних можливостей організму, а також прогнозувати та керувати динамічними процесами лікувальних процедур і профілактичних заходів (табл. 1) [18,19]. Цей показник обраховують у балах за алгоритмом, що включає 5 критеріїв:

- 1) сумарний ефект регуляції за показником частоти серцевих скорочень;
- 2) сумарна активність регуляторних механізмів за середнім квадратичним відхиленням – SD (або за сумарною потужністю спектра – TP);
- 3) вегетативний баланс за комплексом показників: ІН, МRSSD, HF, IC;
- 4) активність вазомоторного центру, що регулює судинний тонус, за потужністю спектра повільних хвиль першого порядку (LF);
- 5) активність серцево-судинного підкіркового нервового центру або надсегментарних рівнів регуляції за потужністю спектра повільних хвиль другого порядку (VLF).

Обстежених поділили на групи залежно від ПАРС.

Усім учасникам експерименту здійснили діагностику компонентного складу тіла біоімпедансним аналізом. Це відносно новий, простий, неінвазивний і недороговартісний метод [20], що ґрунтується на вимірюванні імпедансу (Z) тканин при проходженні через тіло безпечного, маловідчутного електричного струму силою в 50 кГц. Застосували вертикальний тип біоімпедансометрів, а саме апаратно-програмний комплекс «TANITA BC-601» (Японія). За допомогою цього приладу виміряли такі показники: індекс маси тіла (ІМТ, кг/м²), вміст загального жиру (ВЗЖ, %), вміст вісцерального жиру (ВВЖ, од.), вміст безжирової маси (ВБМ, кг).

Статистично результати опрацювали за допомогою програмного пакету Minitab 21.3.1 (freeware version) з використанням параметричних і непараметричних методів оцінювання даних. Достовірність різниці між

Таблиця 1. Оцінювання ступеня напруження регуляторних систем за ПАРС

ПАРС, бали	Ступінь напруження регуляторних систем
1–2	Норма (оптимальний рівень напруження регуляторних систем)
3–4	Помірне функціональне напруження, коли для адаптації до умов навколишнього середовища потрібні додаткові функціональні резерви
5–6	Виражене функціональне напруження, пов'язане з активною мобілізацією захисних механізмів, зокрема з підвищеною активністю симпатно-адреналової системи та системи гіпофіз – наднирники
7–8	Стан перенапруження регуляторних механізмів, для якого характерна недостатність пристосувальних і захисних механізмів, вони не можуть забезпечити адекватну реакцію організму на дію факторів довкілля
9–10	Стан виснаження регуляторних механізмів, прояви астенозації, зрив адаптації, на тлі яких активність регуляторних механізмів знижується, з'являються характерні ознаки патології

незалежними кількісними величинами визначили за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA). Показники наведено як середнє значення ± стандартна похибка середньої величини ($M \pm m$). Кореляційні зв'язки між показниками ВСР, параметрами гемодинаміки, компонентного складу тіла проаналізували, застосувавши коефіцієнт Пірсона. Відмінності вважали достовірними при рівні значущості $p < 0,05$.

Результати

За результатами визначення ПАРС сформували 3 групи обстежених із різним ступенем напруження регуляторних систем. Встановили, що з-поміж обстежених найбільше осіб з оптимальним рівнем напруження регуляторних систем (РС), в яких ПАРС становив 1–2 бали. Цих чоловіків залучили до першої групи – 26 обстежених (59 % від усіх учасників). Кількість осіб, які сформували другу та третю групи, однакова – по 9 (по 20,5 %). До другої групи залучили осіб із помірним напруженням РС, в яких ПАРС становив 3–4 бали; до третьої групи увійшли особи із вираженим напруженням РС, в яких ПАРС дорівнював 5–6 балів. Між сформованими групами виявлено статистично значущу різницю ($p < 0,001$).

У результаті оцінювання функціональних параметрів серцево-судинної системи встановили, що майже всі одержані значення відповідали віковим нормам. Втім в осіб із вираженим і помірним напруженням РС більшість показників були вищими, ніж в обстежених з оптимальним функціонуванням РС.

Значення систолічного артеріального тиску (САТ) в осіб з оптимальним рівнем напруження РС становило $98,88 \pm 8,47$ мм рт. ст. і було нижчим за показники чоловіків другої ($101,44 \pm 10,55$ мм рт. ст.) і третьої ($102,64 \pm 7,61$ мм рт. ст.) груп. ЧСС в обстежених першої групи становила $70,885 \pm 8,042$ уд./хв, нижча за відповідний показник в осіб другої ($79,000 \pm 7,500$ уд./хв) і третьої ($82,500 \pm 5,723$ уд./хв) груп. Показники УО та УІ мали аналогічну тенденцію. Так, в осіб з оптимальним функціональним станом РС середні значення менші ($УО = 71,06 \pm 14,11$ мл; $УІ = 41,081 \pm 8,421$ мл/м²) від показників обстежених із помірним ($УО = 80,28 \pm 11,19$ мл; $УІ = 42,644 \pm 4,996$ мл/м²) і вираженим ($УО = 89,31 \pm 12,9$ мл; $УІ = 45,522 \pm 6,645$ мл/м²) напруженням РС. Оскільки ХОК є похідною від ударного об'єму крові та ЧСС, то в осіб із першої групи він найменший, становив $4,968 \pm 0,989$ л/хв. В осіб із помірним і вираженим напруженням РС цей параметр мав вищі значення: у

Таблиця 2. Показники центральної гемодинаміки у групах із різними ступенями напруження регуляторних систем

Показник, одиниці вимірювання	1 група, n = 26	2 група, n = 9	3 група, n = 9	Статистична значущість відмінностей
САТ, мм рт. ст.	98,88 ± 8,47	101,44 ± 10,55	102,64 ± 7,61	$p_{1,2,3} < 0,485$
ЧСС, уд./хв	70,885 ± 8,042	79,000 ± 7,500	82,500 ± 5,723	$p_{1,2,3} < 0,001$
ХОК, л/хв	4,968 ± 0,989	6,346 ± 0,983	7,352 ± 1,070	$p_{1,2,3} < 0,001$
УІ, мл/м ²	41,081 ± 8,421	42,644 ± 4,996	45,522 ± 6,645	$p_{1,2,3} < 0,319$
УО, мл	71,06 ± 14,11	80,28 ± 11,19	89,31 ± 12,90	$p_{1,2,3} < 0,003$
СІ, л/хв/м ²	2,9888 ± 0,8017	3,3733 ± 0,5031	3,6640 ± 0,5996	$p_{1,2,3} < 0,047$
ЗПОС, дин·с·см ⁻⁵	1476,2 ± 348,2	1204,8 ± 255,1	1099,2 ± 202,6	$p_{1,2,3} < 0,005$
ППО, дин·с·м ² ·см ⁻⁵	2563,8 ± 626,4	2254,4 ± 421,3	2152,2 ± 359,6	$p_{1,2,3} < 0,104$
ПЛШ, Вт	3,850 ± 1,060	4,276 ± 0,732	4,857 ± 1,147	$p_{1,2,3} < 0,046$
РЛШ, кг/м	6,567 ± 1,841	8,328 ± 1,534	9,308 ± 2,216	$p_{1,2,3} < 0,001$
ІРЛШ, кг·м/м ²	3,795 ± 1,086	4,434 ± 0,803	4,717 ± 1,147	$p_{1,2,3} < 0,054$

Таблиця 3. Компонентний склад тіла у групах із різними ступенями напруження регуляторних систем

Показник, одиниці вимірювання	1 група, n = 26	2 група, n = 9	3 група, n = 9	Статистична значущість відмінностей
ІМТ, кг/м ²	22,881 ± 2,422	27,022 ± 2,284	29,778 ± 0,880	$p_{1,2,3} < 0,001$
ВЗЖ, %	14,669 ± 4,488	19,322 ± 4,747	21,600 ± 3,921	$p_{1,2,3} < 0,001$
ВВЖ, од.	2,423 ± 1,501	4,333 ± 2,121	5,556 ± 1,810	$p_{1,2,3} < 0,001$
ВБМ, %	80,910 ± 4,970	75,782 ± 6,297	75,137 ± 4,112	$p_{1,2,3} < 0,005$

Таблиця 4. Кореляційний аналіз між показниками центральної гемодинаміки та ПАРС, параметрами компонентного складу тіла

Показник, одиниці вимірювання	ПАРС, бали	ІМТ, кг/м ²	ВЗЖ, %	ВВЖ, од.	ВБМ, %
ЧСС, уд./хв	0,5139	0,4804	0,4391	0,3923	-0,4134
	$p < 0,001$	$p = 0,001$	$p = 0,003$	$p = 0,008$	$p = 0,005$
САТ, мм рт. ст.	0,2262	0,2783	0,3227	0,2849	-0,3018
	$p = 0,140$	$p = 0,067$	$p = 0,033$	$p = 0,061$	$p = 0,047$
УО, мл	0,4979	0,4915	0,3287	0,3531	-0,3790
	$p = 0,001$	$p = 0,001$	$p = 0,029$	$p = 0,019$	$p = 0,011$
УІ мл/м ²	0,2335	0,1246	0,0387	0,0388	-0,1395
	$p = 0,127$	$p = 0,420$	$p = 0,803$	$p = 0,803$	$p = 0,366$
ХОК, л/хв	0,6975	0,6654	0,5294	0,5046	-0,5580
	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
СІ, л/хв·м ²	0,3760	0,2594	0,1663	0,1466	-0,2551
	$p = 0,012$	$p = 0,089$	$p = 0,281$	$p = 0,342$	$p = 0,095$
ЗПОС, дин·с·см ⁻⁵	-0,4409	-0,4334	-0,2632	-0,2777	0,3136
	$p = 0,003$	$p = 0,003$	$p = 0,084$	$p = 0,068$	$p = 0,038$
ППО, дин·с·м ² ·см ⁻⁵	-0,2902	-0,1776	-0,0639	-0,0560	0,1494
	$p = 0,056$	$p = 0,249$	$p = 0,680$	$p = 0,718$	$p = 0,333$
РЛШ, кг/м	0,5687	0,5449	0,4212	0,4082	-0,4665
	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,004$	$p = 0,006$	$p = 0,001$
ІРЛШ, кг·м/м ²	0,3955	0,3137	0,2422	0,2052	-0,3218
	$p = 0,008$	$p = 0,038$	$p = 0,113$	$p = 0,181$	$p = 0,033$
ПЛШ, Вт	0,4313	0,4503	0,3167	0,3383	-0,3694
	$p = 0,003$	$p = 0,002$	$p = 0,036$	$p = 0,025$	$p = 0,014$

другій групі ХОК становив $6,346 \pm 0,983$ л/хв, у третій – $7,352 \pm 1,070$ л/хв.

У зв'язку з тим, що залучені до дослідження особи відрізнялися за конституцією тіла, то для оцінювання стану гемодинаміки коректнішим є визначення серцевого індексу (СІ), який характеризує відношення серцевого викиду до площі поверхні тіла людини. СІ в осіб першої групи становив $2,9888 \pm 0,8017$ л/хв/м², у чоловіків другої групи – $3,3733 \pm 0,5031$ л/хв/м², третьої – $3,6640 \pm 0,5996$ л/хв/м².

У результаті аналізу показників ЗПОС і ППО у молодих чоловіків встановили такі відмінності: у групі

з оптимальним функціонуванням РС ЗПОС становив $1476,2 \pm 348,2$ дин·с·см⁻⁵, ППО – $2563,8 \pm 626,4$ дин·с·м²·см⁻⁵; у групі з помірним напруженням ЗПОС дорівнював $1204,8 \pm 255,1$ дин·с·см⁻⁵, ППО – $2254,4 \pm 421,3$ дин·с·м²·см⁻⁵; у групі з вираженим напруженням ЗПОС становив $1099,2 \pm 202,6$ дин·с·см⁻⁵, ППО – $2152,2 \pm 359,6$ дин·с·м²·см⁻⁵. Зауважимо, що в осіб із помірним і вираженим напруженням регуляторних систем ці показники нижчі.

Проаналізувавши параметри роботи серцевого м'яза в осіб із різними ступенями напруження регуляторних систем, встановили достовірно нижчі показники у групі

з оптимальним функціональним станом РС (РЛШ – $6,567 \pm 1,841$ кг/м, ІРЛШ – $3,795 \pm 1,086$ кг·м/м²) порівняно з особами з помірним (РЛШ – $8,328 \pm 1,534$ кг/м, ІРЛШ – $4,434 \pm 0,803$ кг·м/м²) і вираженим (РЛШ – $9,308 \pm 2,216$ кг/м, ІРЛШ – $4,717 \pm 1,147$ кг·м/м²) напруженням РС.

Показник потужності лівого шлуночка (ПЛШ) у групі обстежених з оптимальним рівнем напруження РС у середньому становив $3,850 \pm 1,060$ Вт. Це вірогідно менше, ніж у чоловіків, у котрих виявили збільшення напруження РС ($4,276 \pm 0,732$ Вт – в осіб із помірним напруженням; $4,857 \pm 1,147$ Вт – у чоловіків із вираженим напруженням) (табл. 2).

Оскільки залучені до дослідження особи відрізнялися за зростом і масою тіла, то надалі треба було визначити відмінності за їхнім компонентним складом тіла залежно від ступеня напруження РС. Зіставивши показники, одержані в групах чоловіків, визначили вірогідне збільшення ІМТ, ВЗЖ і ВВЖ у групах із помірним і вираженим напруженням РС. Найбільші значення встановили в осіб із вираженим напруженням РС (ІМТ становив $29,778 \pm 0,880$ кг/м², ВЗЖ – $21,600 \pm 3,921$ %, ВВЖ – $5,556 \pm 1,810$ од.). Дещо меншими ці показники були в обстежених із помірним напруженням РС (ІМТ дорівнював $27,022 \pm 2,284$ кг/м², ВЗЖ – $19,322 \pm 4,747$ %, ВВЖ – $4,333 \pm 2,121$ од.). У чоловіків з оптимальним станом РС ці показники найнижчі, відповідали діапазону норми: ІМТ становив $22,881 \pm 2,422$ кг/м², ВЗЖ – $14,669 \pm 4,488$ %, ВВЖ – $2,423 \pm 1,501$ од. У групах із підвищеним ступенем напруження РС встановили достовірне ($p < 0,05$) зниження ВБМ порівняно з показником осіб з оптимальним станом РС (ВБМ у третій групі дорівнював $75,137 \pm 4,112$ %, у другій – $75,782 \pm 6,297$ %, у першій – $80,910 \pm 4,970$ %) (табл. 3).

Для визначення чинників впливу на серцево-судинну систему в осіб із різною активністю РС і різним компонентним складом тіла здійснили кореляційний аналіз між показниками центральної гемодинаміки та ПАРС, а також параметрами компонентного складу тіла. Результати наведено в таблиці 4.

У результаті кореляційного аналізу встановили, що ПАРС позитивно корелював із хвилинним об'ємом крові (сильний зв'язок, $r = 0,6975$, $p < 0,001$), серцевим індексом (середній зв'язок, $r = 0,3760$, $p = 0,012$), роботою лівого шлуночка (середній зв'язок, $r = 0,5687$, $p < 0,001$), індексом роботи лівого шлуночка (середній зв'язок, $r = 0,3955$, $p = 0,008$), потужністю лівого шлуночка (середній зв'язок, $r = 0,4313$, $p = 0,003$), частотою серцевих скорочень (середній зв'язок, $r = 0,5139$, $p < 0,001$) та ударним об'ємом (середній зв'язок, $r = 0,4979$, $p = 0,001$). Встановили також негативний кореляційний зв'язок між цим показником і загальним периферичним опором судин (середньої сили зв'язок, $r = -0,4409$, $p = 0,003$). Не визначили статистично вірогідної кореляції показників компонентного складу тіла та середнього артеріального тиску ($r = 0,2262$, $p = 0,140$), ударного індексу ($r = 0,2335$, $p = 0,127$) й питомого периферичного опору ($r = -0,2902$, $p = 0,056$).

Встановили низку значущих зв'язків між показниками серцевої діяльності та параметрами компонентного складу тіла. Так, ЧСС пов'язана з показником ІМТ (середній за силою зв'язок, $r = 0,4804$, $p = 0,001$), ВЗЖ (середній зв'язок, $r = 0,4391$, $p = 0,003$), ВВЖ (середній

Таблиця 5. Кореляційний аналіз між ПАРС і показниками компонентного складу тіла

Показник, одиниці вимірювання	ІМТ, кг/м ²	ВЗЖ, %	ВВЖ, од	ВБМ, %
ПАРС, бали	$r = 0,7729$	$r = 0,5077$	$r = 0,5696$	$r = -0,4157$
	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,005$

зв'язок, $r = 0,3923$, $p = 0,008$) і ВБМ (середній зв'язок, $r = -0,4134$, $p = 0,005$). УО корелює з показниками ІМТ (середній прямий зв'язок, $r = 0,4915$, $p = 0,001$), ВЗЖ (середній прямий зв'язок, $r = 0,3287$, $p = 0,029$), ВВЖ (середній прямий зв'язок, $r = 0,3531$, $p = 0,019$) та ВБМ (середній зворотній зв'язок, $r = -0,3790$, $p = 0,011$). Виявили кореляції різних сил між ХОК і ІМТ (сильний зв'язок, $r = 0,6654$, $p < 0,001$), ВЗЖ (середній зв'язок, $r = 0,5294$, $p < 0,001$), ВВЖ (середній зв'язок, $r = 0,5046$, $p < 0,001$) та ВБМ (середній зв'язок, $r = -0,5580$, $p < 0,001$). РЛШ також пов'язана з ІМТ (середній зв'язок, $r = 0,5449$, $p < 0,001$), ВЗЖ (середній зв'язок, $r = 0,4212$, $p = 0,004$), ВВЖ (середній зв'язок, $r = 0,4082$, $p = 0,006$) і ВБМ (середній зв'язок, $r = -0,4665$, $p = 0,001$). Таку саму кількість достовірних середньої сили зв'язків встановили між ПЛШ і показниками компонентного складу тіла: ІМТ ($r = 0,4503$, $p = 0,002$), ВЗЖ ($r = 0,3167$, $p = 0,036$), ВВЖ ($r = 0,3383$, $p = 0,025$) та ВБМ ($r = -0,3694$, $p = 0,014$). Визначили, що ЗПОС пов'язаний з ІМТ зворотним середньої сили зв'язком ($r = -0,4334$, $p = 0,003$), із ВБМ – прямим середньої сили зв'язком ($r = 0,3136$, $p = 0,038$). Досягли рівня вірогідності ($p < 0,05$) зв'язки між САТ і ВЗЖ (середньої сили зв'язок, $r = 0,3227$, $p = 0,033$), ВБМ (середньої сили зв'язок, $r = -0,3018$, $p = 0,047$). Показник ІРЛШ значущо пов'язаний з ІМТ (середньої сили зв'язок, $r = 0,3137$, $p = 0,038$) і ВБМ (середній зв'язок, $r = -0,3218$, $p = 0,033$).

Оскільки стан серцево-судинної системи залежить і від активності РС, і від компонентного складу тіла, доцільно визначити зв'язок між ними (табл. 5). Встановили, що вони тісно корелюють між собою. Позитивні кореляційні зв'язки встановлені між ПАРС та ІМТ (сильний зв'язок, $r = 0,7729$, $p < 0,001$), ВЗЖ (середній зв'язок, $r = 0,5077$, $p < 0,001$) та ВВЖ (середній зв'язок, $r = 0,5696$, $p < 0,001$). Зв'язок між ПАРС і ВБМ негативний (середньої сили зв'язок, $r = -0,4157$, $p = 0,005$).

Обговорення

Проаналізувавши показники центральної гемодинаміки в осіб із різною активністю регуляторних систем, встановили, що їхні середні значення відрізнялися. В осіб із помірним і вираженим напруженням РС більшість показників вищі, ніж у чоловіків з оптимальним функціонуванням РС. Зростання напруження регуляторних систем супроводжується підвищеною активністю симпатико-адреналової та гіпоталамо-гіпофізарно-наднирничкової систем [19,21]. Тривала активація цих систем спричиняє збільшення концентрації в крові нейромедіаторів (адреналін і норадреналін) та кортизолу, що впливають на структурно-функціональний стан серцево-судинної системи [22].

Роль змін нейрогенної регуляції особливо важлива на етапі становлення захворювання, коли в більшості хворих виявляють клінічні й лабораторні ознаки ще

без структурних змін з боку серця та судинної стінки. Результатом цих змін є збільшення серцевого індексу внаслідок збільшення кількості серцевих скорочень і посилення скорочувальної активності міокарда.

ЧСС – один із показників функціонування серцево-судинної системи, що вказує на продуктивність серця. Чим нижчим є значення ЧСС, тим більша ефективність серцевої роботи [23]. Отже, у людей зі збільшенням ступеня напруження РС спостерігають погіршення продуктивності серцево-судинної системи порівняно з тими, хто має оптимальний рівень функціонування РС.

Аналізуючи показники ударного індексу та ударного об'єму в молодих чоловіків, треба зазначити, що в групах осіб із помірним і вираженим напруженням РС ці параметри більші, ніж в обстежених з оптимальним функціональним станом РС. ХОК та СІ характеризують передусім стан насосної функції серця, є похідними від ударного об'єму крові та ЧСС. У здорових тренуваних молодих людей ХОК збільшується переважно внаслідок збільшення УО, а ЧСС при цьому зменшується. Це підвищує економічність роботи серця. У нетренуваних осіб зростання ХОК відбувається передусім через збільшення ЧСС.

Ударний об'єм, ударний індекс, хвилинний об'єм крові та серцевий індекс взаємопов'язані та характеризують інтенсивність роботи серця. Збільшення цих показників вказує на збільшену кількість крові, яку серце викидає під час систоли, та кількість крові, що переміщується через систему кровообігу за одну хвилину. Згідно з законом Франка–Старлінга, збільшується сила скорочення та, відповідно, робота лівого шлуночка, що досить швидко призводить до гіпертрофії його міокарда. Таку особливість виявили в обстежених із напруженими механізмами регуляції. Отже, серце у таких осіб працює в найменш економічному режимі, і його компенсаторні можливості обмежені.

Загальний периферичний опір судин визначає навантаження на міокард лівого шлуночка. В обстежених із підвищеним напруженням функціонування РС середні значення ЗПОС і ППО нижчі порівняно з особами з оптимальним функціонуванням РС. Нижчі значення цих показників можуть бути зумовлені компенсаторними механізмами на фоні більшої роботи серця або є результатом превалювання в них активності симпатичної нервової системи.

Вазодилатуючий ефект гіперактивності симпатичної нервової системи пов'язаний із модуляцією вільнорадикального окиснення та синтезом прозапальних цитокінів, як-от фактора некрозу пухлини- α (TNF), інтерлейкінів (IL-1 α IL-6, IL-17), що ініціюють розвиток ендотеліальної дисфункції. Це супроводжується змищенням системи вазоконстрикції – вазодилатації з перевагою вазодилатації [22].

Оцінювання компонентного складу тіла в осіб із різними ступенями напруження РС показало таку закономірність: в обстежених із помірним і вираженим напруженням РС середні значення ІМТ, ВЗЖ і ВВЖ вищі порівняно з показниками чоловіків з оптимальним рівнем функціонування РС. Зіставлення одержаних значень в осіб із помірним і вираженим напруженням РС та нормативних дало підстави інтерпретувати ІМТ

як наявність зайвої маси тіла, ВЗЖ – як надмірний вміст жиру в організмі; ВВЖ відповідав допустимому рівню, але перевищував оптимальний. У групі з оптимальним рівнем функціонування РС ці показники відповідали віковій нормі.

Зауважимо, що ожиріння є одним з основних кардіо-васкулярних факторів ризику [24]. Надмірний вміст жиру в організмі призводить до збільшеного ударного об'єму лівого шлуночка, а отже збільшення ХОК, порожнини лівого шлуночка та підвищеного тиску наповнення [25]. наслідком цього є збільшення маси міокарда лівого шлуночка, тобто його гіпертрофія, та формування діастолічної та/або систолічної дисфункції. Крім того, ожиріння додатково активує симпто-адреналову та ренін-ангіотензин-альдостеронову системи, що мають негативний вплив на серцево-судинну систему [26].

Цей взаємозв'язок підтверджено кореляційними зв'язками, що встановили під час нашого дослідження. Отже, зростання напруженості регуляторних систем супроводжується додатковим навантаженням на серцево-судинну систему, і це пов'язано з превалюванням активності симпатичної нервової системи та збільшенням вмісту жиру в організмі.

Висновки

1. Вивчивши стан регуляторних систем на основі ПАРС у молодих чоловіків, встановили: при збільшенні ступеня напруженості РС зростають показники центральної гемодинаміки порівняно з особами з оптимальним станом РС.
2. При помірному та вираженому напруженні РС серцево-судинна система працює інтенсивніше, а при оптимальному рівні функціонування РС її діяльність менш енергозатратна. Отже, серцево-судинна система потенційно може зазнавати істотних негативних змін, коли збільшується ступінь напруження механізмів регуляції.
3. Для більшості показників центральної гемодинаміки встановлено достовірні прямі кореляційні зв'язки з ПАРС і параметрами компонентного складу тіла. Крім того, визначено кореляційні зв'язки між ПАРС і компонентним складом тіла.
4. ПАРС може бути використаний як предиктор для раннього виявлення кардіометаболічних ризиків, особливо в осіб зі змінним складом тіла.

Перспективи подальших досліджень. Пряма залежність між ступенем напруженості РС і показниками центральної гемодинаміки обґрунтовує необхідність наступних досліджень, що присвячені вивченню можливості сповільнення розвитку серцево-судинних захворювань шляхом переходу від одного функціонального стану до іншого за допомогою індивідуальних заходів, спрямованих на корекцію нейровегетативної регуляції.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 26.04.2024

Після доопрацювання / Revised: 17.05.2024

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.2024

Відомості про авторів:

Крічфалушій О. П., д-р філософії, доцент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: 0000-0001-6326-5178

Немеш М. І., д-р філософії, доцент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: 0000-0001-8044-7053

Сливка Я. І., канд. мед. наук, доцент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: 0000-0002-9742-1906

Савка Ю. М., канд. мед. наук, доцент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: 0000-0003-0052-8537

Паламарчук О. С., д-р філософії, доцент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: 0000-0002-9742-1906

Фекета В. П., д-р біол. наук, професор, зав. каф. фізіології та патофізіології медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: 0000-0002-4951-4040

Information about the authors:

Krichfalushii O. P., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty No. 2, State University "Uzhhorod National University", Ukraine.

Nemesh M. I., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty No. 2, State University "Uzhhorod National University", Ukraine.

Slyvka Ya. I., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty No. 2, State University "Uzhhorod National University", Ukraine.

Savka Yu. M., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty No. 2, State University "Uzhhorod National University", Ukraine.

Palamarchuk O. S., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty No. 2, State University "Uzhhorod National University", Ukraine.

Feketa V. P., PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty No. 2, State University "Uzhhorod National University", Ukraine.

References

- Russo B, Menduni M, Borboni P, Picconi F, Frontoni S. Autonomic Nervous System in Obesity and Insulin-Resistance-The Complex Interplay between Leptin and Central Nervous System. *Int J Mol Sci*. 2021;22(10):5187. doi: 10.3390/ijms22105187
- Valensi P. Autonomic nervous system activity changes in patients with hypertension and overweight: role and therapeutic implications. *Cardiovasc Diabetol*. 2021;20(1):170. doi: 10.1186/s12933-021-01356-w
- Messina G, Valenzano A, Moscatelli F, Salerno M, Lonigro A, Esposito T, et al. Role of Autonomic Nervous System and Orexinergic System on Adipose Tissue. *Front Physiol*. 2017;8:137. doi: 10.3389/fphys.2017.00137
- Pandit R, Beerens S, Adan RA. Role of leptin in energy expenditure: the hypothalamic perspective. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2017;312(6):R938-R947. doi: 10.1152/ajpregu.00045.2016
- Hall ME, Cohen JB, Ard JD, Egan BM, Hall JE, Lavie CJ, et al. Weight-Loss Strategies for Prevention and Treatment of Hypertension: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Hypertension*. 2021;78(5):e38-e50. doi: 10.1161/HYP.0000000000000202
- Hall ME, Hall JE. Pathogenesis of hypertension. In: *Hypertension: A Companion to Braunwald's Heart Disease*. Elsevier; 2018. p. 33-51. doi: 10.1016/B978-0-323-42973-3.00005-6
- Hall JE, Granger JP, do Carmo JM, da Silva AA, Dubinina J, George E, et al. Hypertension: physiology and pathophysiology. *Compr Physiol*. 2012;2(4):2393-442. doi: 10.1002/cphy.c110058
- Hall JE, do Carmo JM, da Silva AA, Wang Z, Hall ME. Obesity-induced hypertension: interaction of neurohumoral and renal mechanisms. *Circ Res*. 2015;116(6):991-1006. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.116.305697
- Fidan-Yaylali G, Yaylali YT, Erdogan Ç, Can B, Senol H, Gedik-Topçu B, et al. The Association between Central Adiposity and Autonomic Dysfunction in Obesity. *Med Princ Pract*. 2016;25(5):442-8. doi: 10.1159/000446915
- Smoljo T, Stanić I, Sila S, Kovačić U, Crnošija L, Junaković A, et al. The Relationship between Autonomic Regulation of Cardiovascular Function and Body Composition. *J Obes Metab Syndr*. 2020;29(3):188-97. doi: 10.7570/jomes20041
- Hillebrand S, de Mutsert R, Christen T, Maan AC, Jukema JW, Lamb HJ, et al. Body fat, especially visceral fat, is associated with electrocardiographic measures of sympathetic activation. *Obesity (Silver Spring)*. 2014;22(6):1553-9. doi: 10.1002/oby.20709
- Shauri A, Varghese J, Zainab U, Dawoud O, Bagchi S, Diab F. The association between obesity and the functions of the autonomic nervous system in young adults. *International Journal of Health Sciences*. 2022;6(S4):11353-76. doi: 10.53730/ijhs.v6nS4.11048
- Lambert EA, Straznicki NE, Dixon JB, Lambert GW. Should the sympathetic nervous system be a target to improve cardiometabolic risk in obesity? *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2015;309(2):H244-58. doi: 10.1152/ajpheart.00096.2015
- Cvijetic S, Macan J, Boschiero D, Ilich JZ. Body fat and muscle in relation to heart rate variability in young-to-middle age men: a cross sectional study. *Ann Hum Biol*. 2023;50(1):108-16. doi: 10.1080/03014460.2023.2180089
- Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, Lee YH, Koo BH. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig*. 2018;15(3):235-45. doi: 10.30773/pi.2017.08.17
- Slyvka YI, Feketa VP, Virah MV, Nemesh MI, Kentesh OP. Comprehensive assessment of autonomic dysfunction in patients with asthma using the regulatory systems activity index. *Wiad Lek*. 2017;70(6 pt 1):1061-6. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996;93(5):1043-65.
- Leonteva Z. [The calculation of adaptation potential, the evaluation of adaptation abilities of the body and the health level of students of Lviv National Medical University by Danylo Halytsky]. *Proc Shevchenko Sci Soc. Medical sciences*. 2017;47:64-70. Ukrainian. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pntsh_lik_2016_47_10
- Marushko YV, Hyshchak TV. Pokaznyky variabelnosti sertshevoho rytmu v otsiniuvanni adaptatsiinykh protsesiv [Indicators of heart rate variability in assessment of adaptation processes]. *Health of Ukraine*. 2015;0(2):45-6. Ukrainian. Available from: [https://health-ua.com/article/6818-pokazniki-variabelnost-sertcevo-go-ritmu-v-otcnyuvann-adaptatsiinykh-protcesiv](https://health-ua.com/article/6818-pokazniki-variabelnost-sertsevo-go-ritmu-v-otcnyuvann-adaptatsiinykh-protcesiv)
- Ivanchykova SM. [Bioimpedance analysis component of body composition of university students in the process of fitness]. *Naukovi Chasopys Dragomanov Ukrainian State University*. 2016;0(1):13-6. Ukrainian. Available from: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/13981>
- Tkachyshyna NY. [Analysis of variability data of heart rhythm in the workers of locomotive brigades depending on the experience of the work]. *Actual problems of transport medicine*. 2017;0(3):83-91. Ukrainian. Available from: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/140171/11Tkachishyna.pdf?sequence=1>
- Hryniv OI. [Ways to improve the results of treatment of arterial hypertension stage I-II: substantiation of the possibilities of using magnesium drugs and psychoemotional correction] [dissertation on the Internet]. Ivano-Frankivsk: Ivano-Frankivsk National Medical University; 2020 [cited 2024 Jun 11]. Ukrainian. Available from: <https://nrat.ukrintei.ua/en/searchdoc/0420U101870/>
- Vadzyuk SN, Huk VO, Tabas PS. [Functional capabilities of the cardiovascular system and stress resistance of individuals with different heat sensitivity]. *Fiziol Zh*. 2023;69(3):25-30. Ukrainian. doi: 10.15407/fz69.03.024
- Khyts AR. ISH 2020: onovleni klinichni rekomendatsii, nova klasyfikatsiia arterialnoi hipertenzii ta sproshchena klasyfikatsiia kardiovaskularnoho ryzkyu [Updated clinical recommendations, new classification of arterial hypertension and simplified classification of cardiovascular risk]. *Ukrainian medical journal [Internet]*. 2020 Jun 16:1-3. Ukrainian. Available from: www.umj.com.ua/uk/publikatsiia-180785-ish-2020-onovleni-klinichni-rekomendatsiiji-nova-klasifikatsiia-arterialnoyi-gipertenzii-ta-sproshchena-klasifikatsiia-kardiovaskulyarnogo-rizyku
- Gorbachova VV, Plegutsa OI. [Obesity and cardio-vascular disorders: review]. *Family medicine*. 2020;0(3):47-51. Ukrainian. Available from: <https://family-medicine.com.ua/2412-8708/article/download/211860/211947/477356>
- Mishchenko LA. Arterialna hipertenzia: komorbidnist i suputni zakhvoriuvannia [Arterial hypertension: comorbidity and associated diseases]. *Health of Ukraine*. 2021;0(3):43. Ukrainian. Available from: <https://health-ua.com/article/66572-arterialna-gipertenzia-komorbidnist-suputnzahvoriuvannia>