

УДК 612.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1 -141-149

Сергій Миколайович Хоменко

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

skhomenko@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>**Максим Володимирович Лю**

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

clakky2016@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9970-2188>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РЕЗЕРВІВ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ПІДЛІТКІВ ТА ЮНАКІВ

Науково обґрунтовано та запропоновано новий спосіб діагностики та оцінки резервних можливостей серцево-судинної системи підлітків та юнаків. Дослідження варіації серцевого ритму (BCP) та хвильової структури серцевого ритмі (ХССР) телеметричним методом (пульсомет Polar m400 HR, Polar Oυ, Фінляндія) за умов виконання ортостатичної проби за динамікою показників стрес-індексу (SI) та індексу симпато-вагального балансу (LF/HF) у юнаків та підлітків встановлені різні типологічні варіанти резервних можливостей регуляторних реакцій на серцевий ритм (CP). За динамікою показників SI та LF/HF у юнаків встановлені вищі фізіологічні резерви, а механізми регуляції автономної нервової системи (АНС) характеризувалися підвищеною активацією автономного контуру управління на пазухо-передсердний вузол серця та зниженим впливом вищих вегетативних центрів на підкірковий центр, ніж у підлітків. Кардіоінтервалографія є важливим і чутливим методом дослідження станів адаптації/деадаптації та резервних можливостей організму спортсменів. Для раннього розпізнавання неадекватних реакцій організму на тренувальні та змагальні навантаження необхідно впроваджувати в практику медичного контролю телеметричні методики дослідження функціонального стану та резервних можливостей серцево-судинної системи.

Ключові слова: юнаки, підлітки, варіабельність серцевого ритму, спектральна ритмографія, автономна нервова система, ортопроба, функціональні резерви.

Актуальність проблеми. Сучасний спорт вищих досягнень, неминуче пов'язаний з інтенсифікацією тренувального процесу та з значними фізичними навантаженнями. Суттєво, що і в олімпійському та професіональному спорті крайні фізичні навантаження, на межі функціональних можливостей людини можуть привести до гострого та хронічного фізичного перенапруження з негативними наслідками для здоров'я спортсмена [1, 2, 3, 4].

Ранньою ознакою зриву адаптації організму спортсмена служить порушення регуляторних механізмів автономної нервової системи у регуляції серцево-судинної системи, що може проявитися метаболічних та функціональних особливостях серця спортсмена внаслідок хронічного фізичного перенапруження. Проте, компенсаторні можливості організму дозволяють спортсмену не тільки тренуватися, але й поліпшувати спортивні результати. За даними [3, 5], аналіз регуляторних механізмів серцевого ритму у спортсменів дозволяє диференціювати характер порушень [6, 7, 8, 9].

Незважаючи на високі функціональні спроможності серцево-судинної системи спортсменів, крайні фізичні навантаження, що не відповідають можливостям організму, є ведучим етіологічним чинником виникнення порушень метаболізму міокарда [10, 11]. Важливе значення приділяється віковим особливостям формування фізіологічних резервів підлітків та юнаків за характеристиками кардіоінтервалографії [12, 13].

Удосконалення і методів дослідження дозволяє, з одного боку, виявляти позитивні зрушення, які виникають під впливом раціональних занять фізкультурою і спортом, а з другого - своєчасно діагностувати ряд граничних станів та патологічних змін [3, 7; 14].

Своєрідний стан організму спортсмена припускає особливості у виникненні проявів перебігу граничних та патологічних станів [15, 16].

З літератури відомо, що систематичні заняття фізичною культурою та спортом дітей, підлітків і юнаків здійснюють профілактичний вплив на розвиток патологічних станів та вносять корективи у формування фізіологічних резервів в онтогенезі. Слід підкреслити, що переважна більшість досліджень впливу систематичних занять фізичною культурою на фізіологічні резерви присвячені зрілому віку і пов'язані з трудовою діяльністю. Фізіологічні механізми, що забезпечують формування резервних можливостей в онтогенезі у дітей, підлітків та юнаків не досліджувались. Хоча відомо, що в ці вікові періоди відбуваються швидкі зміни у перебудові різних фізіологічних систем [17, 18, 19]. Дослідження, що проведені у осіб зрілого віку демонструють помилковість перенесення закономірностей та особливостей формування фізіологічних резервів дорослих людей на дітей, підлітків та юнаків. Тому виникає необхідність дослідити особливості формування резервних можливостей у підлітків і юнаків.

Припускаємо, що вікові закономірності та особливості формування фізіологічних резервів у підлітків, юнаків будуть супроводжуватись різними функціональними перебудовами та їх механізмами. Ось чому для біологічної науки вкрай важливо дослідити закономірності і особливості формування фізіологічних резервів у підлітків та юнаків.

Наявність відмінностей за показниками фізіологічних резервних можливостей може бути підставою для вирішення завдань диференційованого підходу до управління розумовою та спортивною діяльністю. У більшості наукових робіт відсутня вагома інформація та не з'ясовані теоретичні закономірності про характеристики і особливості фізіологічних резервних можливостей у підлітків та юнаків. Це свідчить про існування протиріччя між необхідністю здійснювати диференційований підхід до вдосконалення фізичної та розумової працездатності з урахуванням фізіологічних механізмів формування резервних можливостей серцево-судинної системи. Вказані проблеми визначили актуальність даної роботи.

Припустили, що процес формування фізіологічних резервів у підлітків та юнаків може мати закономірності у залежності від вікових особливостей обстежуваних.

Мета дослідження: Мета роботи – з'ясувати особливості формування фізіологічних резервів та регуляторних механізмів серцево-судинної системи у підлітків та юнаків за показниками варіаційної та спектральної кардіоінтервалографії.

Матеріали і методи дослідження. Відомо, що стан здоров'я та хвороба значною мірою визначається рівнем функціонування, якістю регуляторних механізмів та станом резервних можливостей організму [3, 8, 16]. Одним з неінвазивних і надійних методів оцінки стану резервних можливостей та регуляторних механізмів є технологія ВСР та ХССР за якою можна досліджувати функціональний стану серцево-судинної системи [20, 21, 22]. Широке застосування ВСР та ХССР знайшла і у спортивній медицині та фізіології праці та спорту [23; 24]. Але, адаптація організму спортсмена до тренувальних і змагальних фізичних навантажень і збереження здоров'я вимагають постійного напруження резервних можливостей та регуляторних механізмів [2, 8]. Останні повинні забезпечити оптимальне пристосування організму спортсмена до значних фізичних навантажень за умови мінімального напруження регуляторних механізмів [8]. Основними фізіологічними механізмами оптимального пристосування організму до умов спортивної діяльності є процеси економізації і мобілізації, які визначають ефективність підготовки спортсмена і у повній мірі відображаються у характеристиках ВСР та ХССР [8].

Керуючись принципами біомедичної етики та на підставі інформаційної згоди у 35 підлітків $12,6 \pm 0,2$ років (стаж занять $4,2 \pm 0,2$ років) та 37 юнаків $18,7 \pm 0,2$ років (стаж занять $6,2 \pm 0,2$ років) реєстрували статистичні, варіаційні показники варіабельності серцевого ритму (ВСР) та здійснювали спектральний аналіз хвильової структури серцевого ритму (ХССР). З використанням телеметричної апаратури (пульсометрів Polar m400 HR, Polar Oυ, Фінляндія) у стані спокою визначали показники ВСР та ХССР [20], реєстрували частоту серцевих скорочень (HR, уд/хв.), визначали статистичні і варіаційні показники SDNN мс, AMo% та SI, у.о. Також визначали загальну потужність спектру частот (TP, мс²), високочастотний

0,15–0,4 Гц (HF, мс²), низькочастотний в діапазоні 0,04–0,15 Гц (LF, мс²) та наднизькочастотний компонент спектру CP в діапазоні 0,003–0,04 Гц (VLF, мс²). Окрім цього, розраховували відсотковий внесок кожного із частотних компонентів спектру у TP (HF, LF та VLF%) та показник індексу централізації (IC%), як відношення $VLF\% + LF\% / HF\%$ [20, 24].

Показники ВСР реєструвалися вранці, натщесерце у положенні лежачи після 10-хвилинної адаптації до умов реєстрації. Як фонові показники використовували результати останніх 5 хв запису. Надалі запис кардіоінтервалів проводили у положенні стоячи (6 хв.) для аналізу брали показники останніх 5 хв. Аналіз кожного показника ВСР проводили у відповідності до сучасних уявлень про роль симпатичного та парасимпатичного відділу АНС, підкоркового центру серцево-судинної системи та більш в високого рівня управління фізіологічними функціями [25, 26].

Статистичний аналіз даних проводився за допомогою програми Statistica 64, v12. Перевірку на нормальність розподілу даних проводили з використанням критерію Шапіро-Уїлкі. Достовірність різниць між вибірками, дані яких не потрапляли під закон нормального розподілу визначали з використанням критеріїв Уїлкоксона та Манна-Уїтні. Значимість вірогідних значень приймалась на рівні $p < 0,05$.

Результати дослідження та їх обговорення. Дослідження ВСР та ХССР у юнаків за умови виконання ортостатичної проби дозволяє дати більш детальну оцінку функціональному стану серцево-судинної системи, регуляторним та резервним можливостям організму футболістів. Аналіз показників ВСР проводили у відповідності до сучасних уявлень про участь симпатичного та парасимпатичного відділу, а також підкоркового центру серцево-судинної системи та більш високого рівня управління фізіологічними функціями [20]. Це відкриває нові діагностичні можливості для контролю і управління функціональним станом, регуляції адаптивними реакціями, резервними можливостями організму та своєчасної оцінки несприятливих змін в організмі спортсмена.

Характеристика спортсменів показала, що середній вік юнаків становив $18,7 \pm 0,2$ років (стаж занять $6,2 \pm 0,2$ років), а підлітків $12,6 \pm 0,2$ років (стаж занять $4,2 \pm 0,2$ років). За даними ВСР медіана ЧСС у юнаків була 62,2 [58; 66] уд/хв., а у підлітків - 75,7 [67; 85] уд/хв. У всіх спортсменів у положенні лежачи переважала парасимпатична ланка автономної нервової системи (АНС), що підтверджують значення індексу LF/HF. У юнаків показник LF/HF становив 0,62 [0,5; 0,8] у.о., а у підлітків - 0,95 [0,8; 1,2] у.о. Результати дослідження ВСР та ХССР спортсменів юнаків та підлітків під час виконання ортопроби представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати (Me [25%;75%]) варіаційних та спектральних характеристик серцевого ритму у юнаків (n = 23) та підлітків (n = 23) при виконанні ортостатичної проби

Досліджувані показники		RR, Mc	HR, уд·хв ⁻¹	SDNN, мс	SI, н.о.	TP, мс ²	LF/HF у.о.
Юнаки	Лежачи	967,9 [1029; 1193]	62,2 [58; 66]	74,3 [67; 89]	55,5 [31; 58]	5393,4 [4929; 7336]	0,62 [0,5; 0,8]
	Стоячи	682,4 [829; 914]	88,1 [76; 92]	54,9 [39; 63]	158,1 [98; 194]	3010,7 [2399; 3782]	5,14 [4,3; 6,3]
	% P	+29 0,004	+42 0,003	-26 0,016	+187 0,017	-54 0,016	+729 0,008
Підлітки	Лежачи	789,4 [929; 893]	75,7 [67; 85]	70,9 [63; 89]	73,7 [61; 88]	4268,7 [3919; 5736]	0,95 [0,8; 1,2]
	Стоячи	612,4 [529; 714]	98,5 [76; 107]	47,5 [39; 53]	170,8 [108; 204]	2985,5 [1899; 3298]	2,9 [2,1; 4,8]
	% P	-23 0,006	+29 0,007	-44 0,026	+129 0,013	-30 0,014	+204 0,028

У дослідженні підлітків та юнаків виявили значну індивідуальну варіативність показників ВСР. Наприклад, показник SI коливався в межах від 22 до 137 н.о., а LF/HF – 0,9 - 8.6 н.о. Перш за все, необхідно відмітити, що показники SI та LF/HF у наших обстежуваних були значно нижчі, ніж у здорових осіб, які запропонував Nunan та ін. [23]. В іншій роботі показано, що ваготонія може відбивати зниження реакції на емоційні стимули [5]. Та не дивлячись на те, що діагностичні можливості SI та LF/HF ще обговорюються було встановлено їх сильний зв'язок із захворюваннями серцево-судинної системи це дало нам підстави розділити обстежуваних за цими показниками на типологічні групи [20].

Крім того, враховуючи теоретичні уявлення [21] про наявність центрального та автономного контуру в управлінні механізмами регуляції резервними можливостями серцево-судинної системи, а також те, що SI та LF/HF виявилися найбільш лабільними на пробу ортостазу ми за цими показниками виділили типи регуляції (табл. 2).

Таблиця 2

Кількісні та якісні характеристики при виконанні ортопроби

№ п/п	Тип регуляції	Функціональна характеристика	SI		LF/HF	
			лежачи	стоячи	лежачи	стоячи
1	Виражений центральний	Виражена активація центрального контуру та симпато-адреналової ланки АНС.	>101	>106	>2,5	>7,6
2	Помірний центральний	Помірна активація центрального контуру та симпато-адреналової ланки АНС.	81-100	91–105	1,9–2,4	5,6–7,5
3	Оптимальний	Баланс активності автономного та центрального контуру, симпато-вагальної ланок регуляції АНС.	60–80	75-90	1,2–1,8	3,6–5,5
4	Помірний автономний	Помірна активація автономного контуру та парасимпатичної ланки регуляції АНС.	40–59	50 -74	0,6-1,1	1,6–3,5
5	Виражений автономний	Виражена активація автономного контуру та парасимпатичної ланки регуляції АНС.	<39	<49	<0,5	<1,5

Виходили з того, що SI характеризує ступінь балансу, або домінування автономних/центрального механізмів регуляції фізіологічними резервами, а показник LF/HF – надає перевагу активності симпатичного над парасимпатичним відділом АНС [20] ми запропонували до оптимального типу регуляції віднести значення SI в межах 60-80, а LF/HF - 1,2-1,8. Це свідчить про те, що при виконанні ортопроби у регуляції резервними можливостями спостерігався баланс активності автономного та центрального контуру управління СР, а також ваго-симпатичної взаємодії АНС. Помірна активація автономного контуру та перевага парасимпатичної ланки регуляції АНС відповідала значенням SI в межах 40-59, а LF/HF дорівнювала 0,6–1,1. В разі зниження SI до 39, а LF/HF до 0,5 і менше такі зміни ми вважали, як виражену активацію автономного контуру та парасимпатичної ланки регуляції АНС. У разі підвищення SI до 81–100, а LF/HF до 1,2–1,8 ми вважали як помірну активацію центрального контуру управління та симпато-адреналової ланки АНС. Особи, у яких при виконанні ортопроби спостерігали виражену активацію центрального контуру управління та симпато-адреналової ланки АНС, а значення SI більше, ніж 101 і співвідношення LF/HF більше, ніж 1,8 були віднесені до вираженого центрального типу регуляції резервними можливостями серцево-судинної системи.

Запропонована класифікація типів регуляції СР дозволяє провести фізіологічну оцінку резервних можливостей серцево-судинної системи за кількісними та якісними характеристиками реакції кардіоінтервалографії на ортопробу у групах підлітків та юнаків (табл. 3 та рис. 1).

Таблиця 3

Розподіл обстежуваних (%) підлітків та юнаків на типи регуляції серцевого ритму за умови виконання ортопроби

Типи регуляції	Підлітки		Юнаки	
	лежачи	стоячи	Лежачи	Стоячи
Виражений центральний	7	5	3	1
Помірний центральний	24	21	17	12
Оптимальний	35	35	38	41
Помірний автономний	24	27	29	30
Виражений автономний	10	12	13	16

Розподіл обстежуваних на типи регуляції показав, що у 30% юнаків при виконанні ортопроби резервні можливості серцево-судинної системи характеризувалися помірною активацією автономних, а для 41% обстежуваних виявили оптимальне співвідношення автономних і центральних механізмів регуляції. На думку Ільїна В.М. та Коробейнікова, Г.В. в разі переваги автономних механізмів регуляції у силу високих резервних можливостей та їх пластичності полегшується пристосування до умов середовища та життєдіяльності [9, 17]. У 16% юнаків встановили виражену перевагу автономних механізмів регуляції СР. Тоді як 5% підлітків мали резервні можливості серцево-судинної системи з вираженим, а 21% помірним домінуванням центральних механізмів регуляції. У 35% підлітків встановлено оптимальний, тип регуляції резервних можливостей серцево-судинної системи, що значно нижче, ніж у юнаків. Резервні можливості підлітків з домінуванням помірної (27%) та вираженої активації (12%) автономних механізмів регуляції СР характеризувався низькими значеннями SI і LF/HF. Функціональні резерви 5% підлітків з вираженою активацією центральних механізмів регуляції СР під час виконання ортопроби характеризувалися високими значеннями SI та LF/HF, що свідчило про дезрегуляцію механізмів регуляції (рис.1).

Отже, результати які ми отримали вказують на високі діагностичні можливості телеметричних систем щодо виявлення особливостей формування фізіологічних резервів та регуляторних механізмів серцево-судинної системи у підлітків та юнаків за показниками варіаційної та спектральної кардіоінтервалографії. Виділення підлітків та юнаків в окремі індивідуальні групи за типами регуляції адаптивних реакцій можуть бути використані у практичній діяльності лікаря з метою оцінки адаптивного резерву обстежуваних.

В роботі, яка опублікована Shaffer F. и Ginsberg, J. P. згадується, що більш високий рівень SI та LF/HF пов'язують з патологічними станами та зі смертністю [15]. Лікарі та тренерські колективи у здійсненні медичної експертизи за станом адаптаційних процесів футболістів команди повинні надавати телеметричному контролю за показниками ВСР належну увагу. Телепульсометрія є інформативним та чутливим індикатором станів адаптації/дезаптації. Дана методика може бути рекомендованим для здійснення медичного контролю спортсменів, оцінки стану їх резервних можливостей, ризиків серцево-судинних розладів та хвороби. Таким критеріям, за результатами нашої роботи, відповідають SI та LF/HF за умови виконання ортостатичної проби, які є надійними маркерами дослідження й оцінки резервних можливостей обстежуваних.

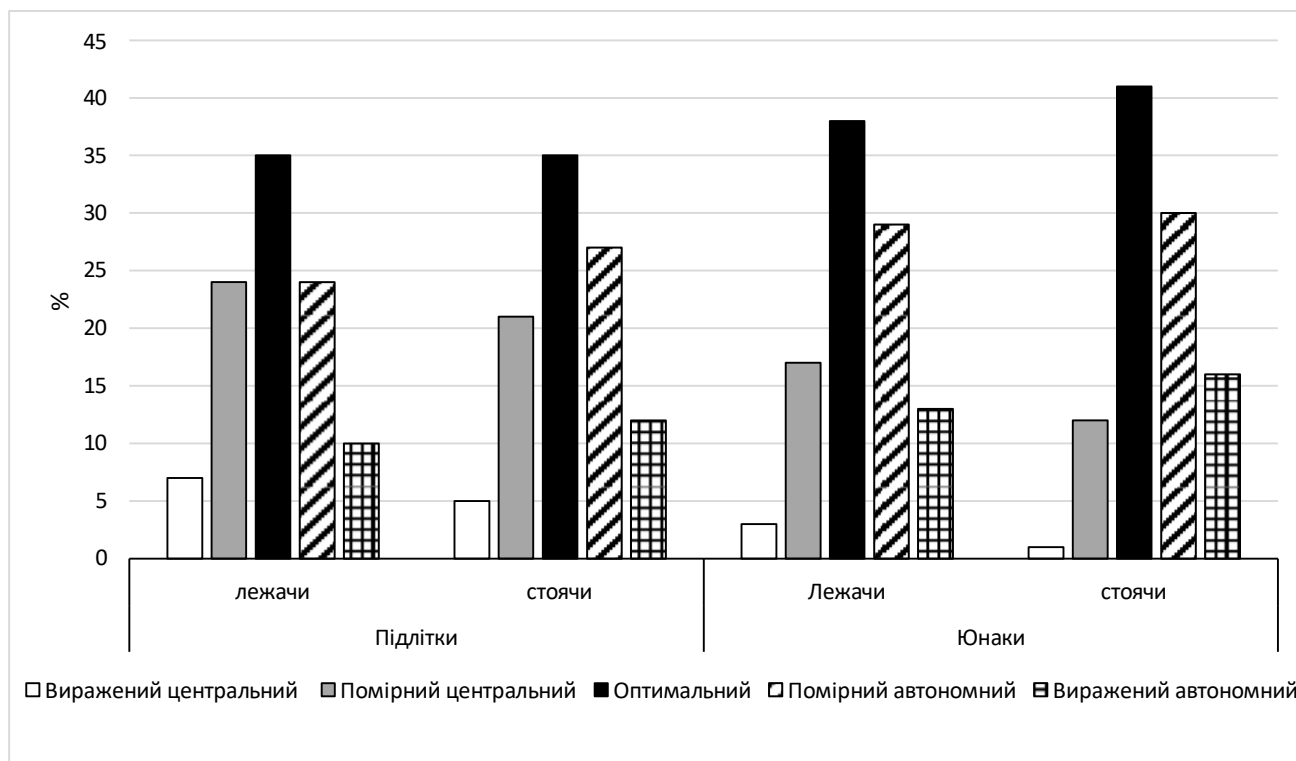


Рис. 1. Розподіл обстежуваних підлітків та юнаків на типи регуляції за показниками реакції кардіоінтервалографії на ортопробу.

Висновки:

1. При виконанні ортопроби за динамікою показників стрес-індексу та симпато-вагального балансу у юнаків встановлені вищі фізіологічні резерви, а механізми регуляції автономної нервової системи (АНС) характеризувалися підвищеною активацією автономного контуру управління на пазухо-передсердний вузол серця та зниженим впливом вищих вегетативних центрів на підкірковий центр, ніж у підлітків.

2. При виконанні ортопроби за динамікою показників стрес-індексу (SI) та індексу симпато-вагального балансу (LF/HF) у юнаків та підлітків встановлені різні типологічні варіанти резервних можливостей регуляторних реакцій на серцевий ритм (СР).

3. Обстежувані з домінуванням помірної та вираженої активації автономних механізмів регуляції СР характеризувалися низькими значеннями SI і LF/HF.

4. Обстежувані, які були віднесені до групи з помірною та вираженою активацією центральних механізмів регуляції СР характеризувалися високими значеннями SI і LF/HF та нижчими показниками резервних можливостей. У них частіше під час виконання ортопроби виявлялись парадоксальні реакції ВСР та дезрегуляція адаптаційних механізмів і ризик захворювань.

Список використаної літератури

1. Григорян, Р., & Сагач, В. (2017). Концепція фізіологічних суперсистем: Нова фаза інтегративної фізіології. *Фізіологічний журнал*, 63(3), 58–67.
2. Уилмор, Дж., & Костилл, Д. (2001). *Физиология спорта и двигательной активности: Учеб. пособие*. Олимпийская литература.
3. Апанасенко, Г., & Козакевич, В. (2004). Оцінка фізичного здоров'я дітей і підлітків. *Медицинский всесвіт*, 4(1), 94–106.
4. Платонов, В. (2021). *Сучасна система спортивного тренування*. Перша друкарня. 672 с.
5. Дорофеева, О. (2016). Комплексна оцінка та корекція функціонального стану і резервних можливостей організму спортсменів. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*, (2), 25–30.
6. Коваленко, С. О., & Кудій, Л. І. (2016). *Варіабельність серцевого ритму: Метод. аспекти*. ЧНУ ім. Б. Хмельницького. 298 с.

7. Корнєєва, І., & Поляков, С. (2002). Ортостатичне тестування в оцінці функціональної готовності юних спортсменів. *Теорія та практика фізичної культури*, (2), 9–12.
8. Міщенко, В. С., Коробейнікова, Л. Г., & Коробейніков, Г. В. (2017). Психофізіологічний стан висококваліфікованих спортсменів з різним рівнем нейродинамічних функцій. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*, (2), 45–53.
9. Korobeynikov, G., Korobeynikova, L., Potop, V., Nikonorov, D., Semenenko, V., Dakal, N., & Mischuk, D. (2018). Heart rate variability system in elite athletes with different levels of stress resistance. *Journal of Physical Education and Sport*, (79), 550–554.
10. Nelson, R. J. (2005). *Biology of Aggression*. Oxford University Press. 451 p.
11. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*.
12. Nunan, D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2010). *A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults*. *Pacing Clin Electrophysiol*.
13. Samokish, I., Bosenko, A., Pryimakov, O., & Biletskaya, V. (2017). Monitoring system of functional ability of university students in the process of physical education. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 17(1), 73–78.
14. Serra-Grima, R., Carrió, M., Subirana, M., Bernà, L., & Prat, T. (2000). Marked ventricular repolarization abnormalities in highly trained athletes' electrocardiograms: Clinical and prognostic implications. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 36(4), 1310–1316.
15. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
16. Яблучанский, Н. И., & Мартыненко, А. В. (2010). *Вариабельность сердечного ритма в помощь практическому врачу*. Для настоящих врачей. <https://core.ac.uk/download/pdf/46586473.pdf>
17. Пуין, В. Н., Филиппов, М. М., & Sosnovskiy, V. V. (2017). Ttraining of the athletes with use of hypoxic conditions. *Вісник Черкаського університету, серія «Біологічні науки»*, (2), 11–26.
18. Сосновський, В. В., Пастухова, В. А., Філіпов, М. М., & Ільїн, В. М. (2018). Аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму у спортсменів під час початкової адаптації до умов гірської гіпоксії. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 4(186), 42–44.
19. Mikhalyuk, E. L., Didenko, M. V., & Malakhova, S. M. (2014). Features of autonomic regulation of heart rate, central hemodynamics and physical performance in Short-distance runners. *Zaporozhye Medical Journal*, (2). <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2014.2.25430>
20. Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
21. West, B. J., & Turalaska, M. (2019). Hypothetical Control of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01078>
22. Босенко, А. І., Борщенко, В. В., Топчій, М. С., & Шавініна, А. О. (2017). Стан механізму регуляції кардіоритму у дівчат 7-16 років протягом навчання в школі. *Вісник проблем біології і медицини*, 2(136), 359–401.
23. Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
24. Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756>
25. Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the elite HRV smartphone application for examining heart rate variability in a field-based setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001841>
26. Hamaideh, S. H., Al-Omari, H., & Al-Modallal, H. (2016). Nursing students' perceived stress and coping behaviors in clinical training in Saudi Arabia. *Journal of Mental Health*, 26(3), 197–203. <https://doi.org/10.3109/09638237.2016.1139067>

References

1. Grigoryan, R., & Sagach, V. (2017). The concept of physiological supersystems: A new phase of integrative physiology. *Physiological Journal.*, 63(3), 58–67. (in Ukr)

2. Wilmore, J., & Costill, D. (2001). *Physiology of sport and motor performance: A textbook*. Olympic Literature. (in Rus).
3. Apanasenko, G., & Kozakevych, V. (2004). Assessment of physical health of children and adolescents. *Medical universe*, 4(1), 94–106. (in Ukr)
4. Platonov, V. (2021). *Modern system of sports training*. First printing house. 672 p. (in Ukr)
5. Dorofeeva, O. (2016). Comprehensive assessment and correction of the functional state and reserve capacities of the athletes' body. *Sports medicine, physical therapy and ergotherapy*, (2), 25-30. (in Ukr)
6. Kovalenko, S. O., & Kudiy, L. I. (2016). *Heart rate variability: Methodological aspects*. Khmelnytsky National University. 298 p. (in Ukr)
7. Korneeva, I., & Polyakov, S. (2002). Orthostatic testing in the assessment of functional readiness of young athletes. *Theory and practice of physical culture*, (2), 9-12. (in Ukr)
8. Mishchenko, V. S., Korobeynikova, L. G., & Korobeynikov, G. V. (2017). Psychophysiological state of highly skilled athletes with different levels of neurodynamic functions. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological sciences*, (2), 45-53. (in Ukr)
9. Korobeynikov, G., Korobeynikova, L., Potop, V., Nikonorov, D., Semenenko, V., Dakal, N., & Mischuk, D. (2018). Heart rate variability system in elite athletes with different levels of stress resistance. *Journal of Physical Education and Sport*, (79), 550–554.
10. Nelson, R. J. (2005). *Biology of Aggression*. Oxford University Press. 451 p.
11. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*.
12. Nunan, D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2010). *A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults*. *Pacing Clin Electrophysiol*.
13. Samokish, I., Bosenko, A., Pryimakov, O., & Biletskaya, V. (2017). Monitoring system of functional ability of university students in the process of physical education. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 17(1), 73–78.
14. Serra-Grima, R., Carrió, M., Subirana, M., Bernà, L., & Prat, T. (2000). Marked ventricular repolarization abnormalities in highly trained athletes' electrocardiograms: Clinical and prognostic implications. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 36(4), 1310–1316.
15. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
16. Yabluchansky, N. I., & Martynenko, A. V. (2010). Heart rate variability to help the practical doctor. For real doctors. <https://core.ac.uk/download/pdf/46586473.pdf> (in Rus)
17. Ilyin, V. N., Filippov, M. M., & Sosnovskiy, V. V. (2017). Training of the athletes with the use of hypoxic conditions. *Bulletin of Cherkasy University, series "Biological Sciences"*, (2), 11-26.
18. Sosnovskiy, V. V., Pastukhova, V. A., Filippov, M. M., & Ilyin, V. M. (2018). Analysis of power spectra of heart rate variability in athletes during initial adaptation to mountain hypoxia. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 4(186), 42-44. (in Ukr)
19. Mikhalyuk, E. L., Didenko, M. V., & Malakhova, S. M. (2014). Features of autonomic regulation of heart rate, central hemodynamics and physical performance in Short-distance runners. *Zaporozhye Medical Journal*, (2). <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2014.2.25430>
20. Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
21. West, B. J., & Turalska, M. (2019). Hypothetical Control of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01078>
22. Bosenko, A. I., Borshchenko, V. V., Topchiy, M. S., & Shavinina, A. O. (2017). The state of the mechanism of cardiac rhythm regulation in girls aged 7-16 years during school. *Bulletin of problems of biology and medicine*, 2(136), 359-401. (in Ukr)
23. Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
24. Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756>

25. Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the elite HRV smartphone application for examining heart rate variability in a field-based setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001841>
26. Hamaideh, S. H., Al-Omari, H., & Al-Modallal, H. (2016). Nursing students' perceived stress and coping behaviors in clinical training in Saudi Arabia. *Journal of Mental Health*, 26(3), 197–203. <https://doi.org/10.3109/09638237.2016.1139067>

Khomenko S.M., Liu M.V. PECULIARITIES OF FORMATION OF FUNCTIONAL RESERVES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF ADOLESCENTS AND YOUNG MEN

The aim of the study is to find out the peculiarities of the formation of physiological reserves and regulatory mechanisms of the cardiovascular system in adolescents and young men by the indicators of variation and spectral cardiac intervalography.

The orthostatic test in the studied adolescents and young men resulted in statistically significant changes in HRV parameters. In the standing position, R-R, SDNN, TP indices statistically significantly decreased, and HR, SI and LF/HF increased compared to the values recorded in the horizontal position. In young men, changes in HRV and HRVC during the orthotest were significantly higher than in adolescents. Thus, in adolescents, there was a statistically significant increase in HR, SI and LF/HF, respectively, by 23%, 129% and 204%. In young men, this response was more pronounced and corresponded to 29%, 187% and 720%.

In the study of adolescents and young men, significant individual variability in HRV indices was found. SI ranged from 22 to 137 conventional units, and LF/HF from 0.9 to 8.6 conventional units.

Moderate activation of the autonomic circuit and the predominance of the parasympathetic link of the autonomic nervous system regulation corresponded to SI values in the range of 40-59, and LF/HF was 0.6-1.1. In case of SI decrease to 39 and LF/NF to 0.5 and less, such changes indicated a pronounced activation of the autonomic circuit and the parasympathetic link of the autonomic nervous system regulation. An increase in SI to 81-100 and LF/HF to 1.2-1.8 indicated a moderate activation of the central control circuit and the sympathetic-adrenal link of the autonomic nervous system. Persons with a pronounced activation of the central control circuit and the sympathetic-adrenal link of the autonomic nervous system, and a SI value of more than 101 and an LF/HF ratio of more than 1.8 were attributed to a pronounced central type of regulation by the reserve capacity of the cardiovascular system.

The division of the subjects into types of regulation showed that in 30% of young men during the orthotest, the reserve capabilities of the cardiovascular system were characterised by moderate activation of autonomic mechanisms, and for 41% of the subjects, the optimal ratio of autonomic and central regulatory mechanisms was found.

A pronounced predominance of autonomic mechanisms of HR regulation was found in 16% of young men. Whereas 5% of adolescents had reserve capacities of the cardiovascular system with a pronounced and 21% moderate dominance of central regulation mechanisms. In 35% of adolescents, the optimal type of regulation of cardiovascular reserve capacity was established, which is significantly lower than in young men. The reserve capacity of adolescents with the dominance of moderate (27%) and pronounced activation (12%) of autonomous mechanisms of HR regulation was characterised by low values of SI and LF/HF. Functional reserves of 5% of adolescents with marked activation of central mechanisms of HR regulation during the orthotest were characterised by high values of SI and LF/HF, which indicated dysregulation of the regulatory mechanisms.

Thus, the results obtained indicate high diagnostic capabilities of telemetry systems for identifying the peculiarities of the formation of physiological reserves and regulatory mechanisms of the cardiovascular system in adolescents and young men by the indicators of variation and spectral cardiac intervalography. The allocation of adolescents and young men into separate individual groups according to the types of regulation of adaptive reactions can be used in the practical activity of a doctor to assess the adaptive reserve of the examined.

Key words: *young men, adolescents, heart rate variability, spectral rhythmography, autonomic nervous system, orthoprobe, functional reserves.*

Одержано редакцією: 13.04.2024

Прийнято до публікації: 22.05.2024