

Зміни варіабельності серцевого ритму та периферичної гемодинаміки під час впливу об'ємного пневмопресингу в осіб з різним типом регуляції автономної нервової системи

Д.В. Шестеріна¹, А.Л. Паламарчук¹, С.О. Коваленко²

¹ Київський медичний університет; e-mail: d.shesterina@kmtu.edu.ua;

² Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

У терапії попередження утворення тромбів, покращення оксигенації периферичних тканин, постопераційному відновленні, геріатрії та спортивній медицині часто використовується переривчаста компресійна терапія, або об'ємний пневмопресинг (ОП). Метою нашого дослідження було визначити функціональні зміни варіабельності серцевого ритму (ВСР) та периферичної гемодинаміки під час впливу ОП низької інтенсивності залежно від різного типу регуляції автономної нервової системи. У дослідженні брали участь 62 особи віком від 18 до 22 років, яким впродовж 20 хв здійснювали ОП інтенсивністю 40 мм рт. ст. приладом Recovery Pump RPX 2020 Compression ("Mego Aftek AC Ltd", Ізраїль). У період впливу та відновлення реєстрували артеріальний тиск методом Короткова механічним тонометром ("Dr.Frei" A-10, Швейцарія). Аналізували ВСР за допомогою кардіодатчика Polar W.I.N.D. Link ("Polar Electro Oy", Фінляндія), зміни параметрів периферичної гемодинаміки – за допомогою реовазографії, приладом XAI-medica standard ("XAI-medica", Україна), тривалістю 10 с. На основі значень потужності спектра в діапазоні 0,15–0,4 Гц (HF норм), методом сигмальних відхилень визначили 3 групи осіб. До 1-ї групи ввійшли 29 осіб з перевагою симпатичної ланки регуляції автономної нервової системи, HF норм у спокої менше ніж 40 ум.од., до 2-ї – 19 осіб з нормотонічним типом регуляції автономної нервової системи, HF норм від 40 до 60 ум. од., до 3-ї – 14 осіб з перевагою парасимпатичної ланки автономної нервової системи, HF норм вище від 60 ум.од. В осіб 1-ї, 2-ї групи ОП пригнічував симпатичну активацію, підвищував кровотік у великих стегнових артеріях, збільшував обсяг пульсової хвилі та тону дрібних артерій. В осіб 3-ї групи переважав відтік крові з нижніх кінцівок, знижувався об'єм та швидкість кровотоку. Отримані результати вказують на ефективність ОП при незначній інтенсивності, а також свідчать про суттєві відмінності реакцій ВСР та периферичної гемодинаміки залежно від індивідуальних особливостей регуляції автономної нервової системи.

Ключові слова: периферична гемодинаміка; нижні кінцівки; об'ємний пневмопресинг; тиск; автономна нервова система.

ВСТУП

Концепція застосування об'ємної компресійної терапії бере свій початок з 30-х років ХХ століття в США, однак клінічний інтерес до цього методу залишається актуальним і нині [1]. Видом компресійної терапії є об'ємний пневмопресинг (ОП), який розглядається як процедура з дуже низькою частотою ускладнень зокрема в терапії тромбозу глибоких вен та м'язового спазму [2].

© Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, 2023

© Видавництво ВД "Академперіодика", 2023

Особливо викликає інтерес вивчення впливу ОП на гемодинаміку артерій нижніх кінцівок [3] внаслідок збільшення градієнта артеріовенозного тиску, збільшення центрального артеріального кровотоку [4] та покращення системної вазодилатації ендотеліальних клітин [5–7]. У спортивній медицині ОП відіграє роль як метод з оптимальним фізіологічним впливом через імітацію скорочення м'язів та клапанів венозних судин [8, 9]. Встановлено,

що він пришвидшує оксигенацію, кліренс метаболітів (наприклад, лактату крові) та покращує вміст креатинкінази у сироватці крові, а це впливає на регенерацію м'язових тканин після інтенсивних фізичних навантажень [10–12].

Існують дані про можливість використання ОП при патологіях системи згортання крові, результатом якого є збільшення синтезу простагліну, котрий перешкоджає агрегації тромбоцитів, та активатора тканинного плазміногену [8, 13–16]. Відомо, про клінічну ефективність ОП як перспективну альтернативу фармакологічним і хірургічним втручанням [17]. Так, при поєднанні періодів локального підвищення та зниження зовнішнього тиску приладу, забезпечується збільшення венозної швидкості та вивільнення крові з вен нижніх кінцівок [18, 19]. Доведено, що ОП високої інтенсивності у здорових осіб підвищує серцевий викид через збільшення ударного об'єму та впливає на серцеву скоротливість міокарда [20, 21]. Хоча цей параметр не є оптимальним і може бути застосований протягом короткого періоду часу [22].

Не менш важливим методом оцінки стану вегетативної регуляції серцево-судинної системи та організму в цілому є ВСР. Це природні зміни інтервалів між серцевими скороченнями (тривалості кардіоциклів), які відображають регуляторний вплив на синусний вузол серця вегетативної нервової системи і різних гуморальних факторів. ВСР ґрунтується на математичному аналізі, який розділяє загальну дисперсію («потужність») безперервної серії ударів на її частотні компоненти [23].

Незважаючи на широке використання різних методів у клінічних умовах, через складності варіабельних складових іннервації серцево-судинної діяльності, вплив змін периферичної гемодинаміки нижніх кінцівок на серцево-судинну активність залежно від індивідуальних особливостей організму не був достатньо досліджений.

Мета нашої роботи визначення функціональних змін ВСР та периферичної гемодинаміки під час впливу ОП низької інтенсивності

залежно від різного типу регуляції автономної нервової системи.

МЕТОДИКА

Обстежено 62 особи чоловічої статі віком від 18 до 22 років, які не мали хронічних та гострих захворювань з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994–2008). Перед проведенням процедури всі обстежені ознайомлені з метою, методикою, задачами та послідовністю проведення дослідження. Вони брали участь у дослідженні добровільно і дали письмовий дозвіл на його проведення та наукове використання результатів.

Дослідження впливу ОП на периферичну гемодинаміку, проводили таким чином: у положенні лежачи аналізували ВСР за допомогою кардіодатчика Polar W.I.N.D. Link. (“Polar Electro Oy”, Фінляндія). Протягом впливу та відновлення реєстрували артеріальний тиск (АТ) аускультативним методом Короткова механічним тонометром (Dr. Frei A-10, Швейцарія). Показники периферичної гемодинаміки вивчали за допомогою трансторакальної тетраполярної імпедансної реоплетизмографії та електрокардіографії, приладом ХАІ-medica standard (“ХАІ-medica”, Україна). ОП здійснювали впродовж 20 хв інтенсивністю 40 мм рт. ст. приладом Recovery Pump RPX 2020 Compression (“Compression Mego Aftek AC Ltd”, Ізраїль) з послідовними фазами компресії та декомпресії по 10 с.

Визначали спектральні показники ВСР: НФнорм – нормалізована потужність спектра в діапазоні 0,15–0,4 Гц, ум.од., ТР – загальна потужність коливань серцевого ритму, мс², LF – 0,04–0,15 Гц, є відображенням низькочастотної складової ВРС, мс², LF/HF – співвідношення низькочастотної потужності спектра до високочастотної, ум.од.

Часові показники ВСР: RMSSD – стандартне відхилення різниці послідовних N–N інтервалів, мс²; pNN50 – половина загальної кількості послідовних N–N-інтервалів.

Показники периферичної гемодинаміки: V_{max} – максимальна швидкість кровонаповнення, ом/с; V_{сер} – середня швидкість кровонаповнення, ом/с; АЧП – амлітудно-частотний показник, ом/с; Pr – відносний об'ємний пульс, %; тривалість анакроти та катакроти, с; PI – реографічний індекс, ом; BI – базовий імпенданс, ум.од.

Тип регуляції автономної нервової системи досліджували на основі значення потужності спектра в діапазоні 0,15–0,4 Гц (HF_{норм}) методом сигмальних відхилень визначили 3 групи осіб. До 1-ї групи ввійшли 29 осіб з перевагою симпатичної ланки регуляції автономної нервової системи, HF_{норм} у спокої менше ніж 40 ум.од., до 2-ї – 19 осіб з нормотонічним типом регуляції автономної нервової системи, HF_{норм} від 40 до 60 ум.од., до 3-ї – 14 осіб з перевагою парасимпатичної ланки автономної нервової системи, HF_{норм} вище від 60 ум.од.

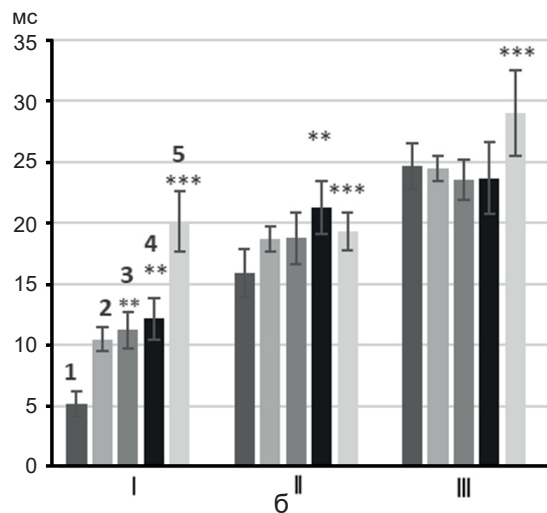
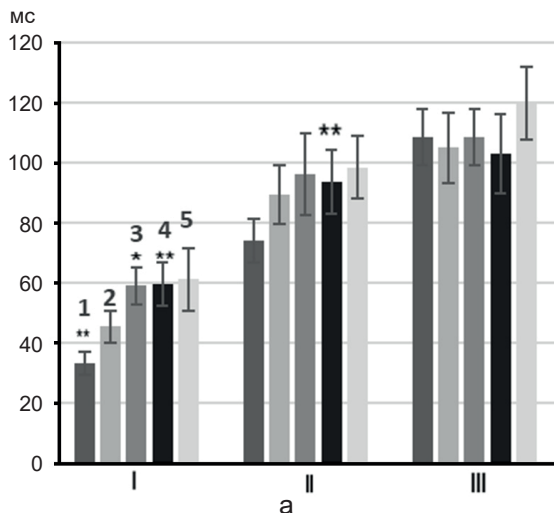
Отримані результати аналізували за допомогою пакету програм STATISTICA 12.0,

методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Для параметричної статистики розраховували середнє арифметичне (M), стандартну похибку вибіркового середнього (m). Результати непараметричних методів аналізу представлено у вигляді медіани (Me) та інтерквартильного розмаху в вигляді 25 і 75%. При нормальному розподілі змінних для визначення відмінностей між групами використовували критерій t Стьюдента, а при непараметричному – критерій Краскела–Уолеса.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У табл. 1 представлено спектральні показники ВСР із різним типом регуляції автономної нервової системи, виявлені вірогідні відмінності параметрів TP у 3-й групі в період відновлення на 15–20-й хвилині, ніж у 1-й та 2-й групах. Достовірні зміни LF здебільшого були зареєстровані у осіб 2-ї та 3-ї груп під час впливу на 15–20-й хвилині. Під час відновлення на 5–10-й хвилині в осіб 1-ї та 2-ї груп значення LF/HF зменшувалося порівняно зі станом спокою.

На рисунку порівняльний аналіз часових параметрів ВСР між групами виявив тенден-



Зміни часових параметрів у молодих чоловіків із різним тип регуляції автономної нервової системи: а – стандартне відхилення послідовних N–N інтервалів (RMSSD), б – половини загальної кількості послідовних N–N-інтервалів (pNN50) у спокої, під час впливу та в період відновлення (M ± m); 1 – спокій, 2 – вплив 5–10 хв, 3 – вплив 15–20 хв, 4 – відновлення 5–10 хв, 5 – відновлення 15–20 хв. I – особи з симпатичним типом нервової системи, II – з нормотонічним типом, III – з парасимпатичним типом. *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001 щодо значень у стані спокою

цію до збільшення показника rMSSD в осіб 1-ї та 2-ї групи під час впливу на 15–20-й хвилині та під час відновлення. Значення

pNN50 також домінує в осіб цих груп під час впливу на 15–20-й хвилині та в осіб 3-ї групи під час відновлення.

Таблиця 1. Показники хвильової структури серцевого ритму у спокої, під час впливу об'ємного пневмопресингу та під час відновлення інтенсивністю 40 мм рт. ст.

Групи обстежених	Спокій	Вплив		Відновлення	
		5–10 хв	15–20 хв	5–10 хв	15–20 хв

Загальна потужність, мс²

1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	2579,24 [1086,23;5180,01]	4892,60 [2971,93;6508,96]	2455,25 [1589,58;4983,88]	5234,99 [2812,37;7513,2]	4104,83 [3231,82;8251,83]
2-га група (з нор- мотонічним типом нервової системи)	5111,42 [3644,3;13510,4]	8799,34 [6235,9;15444,5]	10599,72 [5544,8;15996,8]	10525,41 [5793,3;14134,2]	6014,65 [5023,7;10581,1]
3-тя група (з парасимпатич- ним типом нерво- вої системи)	8238,38 [5370,86;10444,87]	8828,95 [4508,12;9922,77]	10050,10 [6720,47;17471,32]	9628,01 [5156,54;13120,8]	14956,83* [5975,11;20021,4]

Низькочастотна потужність, мс²

1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	751,51 [414,76; 1547,6]	722,42 [434,29; 1396,18]	1009,49 [705,5;1449,94]	1201,98 821,25;1935,65	1086,26 896,45;2393,89
2-га група (з нор- мотонічним типом нервової системи)	1413,47 [975,15;3221,97]	1736,42 [1607,81;3133,48]	2014,38** [1283,48;3215,98]	2519,89 [1520,67;3146,195]	1564,24 [1109,41;2393,51]
3-тя група (з парасимпатич- ним типом нерво- вої системи)	1219,92 [973,51;1840,86]	1577,58 [966,53;2039,79]	2007,88** [1087,77;2898,52]	1848,22 [966,9;2275,54]	2471,90 [1309,84;3176,47]

Співвідношення низькочастотної потужності до високочастотної, ум.од.

1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	2,14 [1,80;3,48,]	2,00 [9,18;2,58]	1,46 [8,58;2,32]	1,65*** [9,50;2,77]	2,04 [1,30;2,85]
2-га група (з нор- мотонічним типом нервової системи)	1,07 [8,70;1,70]	9,00 [6,31;1,58]	9,80 [5,81;1,54]	9,2*** [7,85;1,03,]	9,3 [8,73;1,28]
3-тя група (з парасимпатич- ним типом нерво- вої системи)	3,90 [3,35;5,94]	4,6 [2,91;6,82]	5,30 [4,70;8,00]	4,8*** [3,48;7,56]	9,1 [5,73;1,59]

Примітки: Me, 25%, 75% у осіб; *P ≤ 0,05, **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001 щодо значень у стані спокою.

Під час всього періоду відновлення значення V_{\max} у 1-й і 3-й групах змінювалися лише на рівні тенденції, в 2-й вони на 5–10-й хвилині відновлення були дещо підвищеними за початкові. Усер збільшилась у всіх осіб на 5–10-й хвилині відновлення. Відповідні зміни були і на 15–20-й хвилині відновлення в 1-й та 2-й групах, однак у 3-й групі цей показник зменшився. Також були відмічені статистичні зміни АЧП в 1-й та 3-й групі у період відновлення на 5–10-й хвилині. Під час відновлення на 15–20-й хвилині в 3-й групі показник зменшувався порівняно з станом спокою та відновленням на 5–10-й хвилині.

PI підвищився в 1-й групі (з 1,08 [0,92;1,21] до 1,08 [0,94;1,24] Ом, $P < 0,05$) під час відновлення на 5–10-й хвилині та на 15–20-й. Також достовірно відрізнялася тривалість катакрити в 3-й групі у період відновлення на 5–10-й хвилині порівняно зі станом спокою.

В табл. 3 представлено порівняльний аналіз показників реовазографії між групами. Так, на 15–20-й хвилині P_r зменшувався в 2-й та 3-й групах порівняно з 1-ю групою. Тривалість катакрити підвищувалася в 3-й групі на 15–20-й хвилині відновлення порівняно зі значеннями 1-ї та 2-ї груп. У чоловіків 3-ї групи збільшився час розповсюдження

Таблиця 2. Зміни периферичної гемодинаміки під час спокою та відновлення

Групи обстежених	Спокій	Відновлення	
		5-10 хв	15-20 хв
Максимальна швидкість кровонаповнення, ом/с			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	1,66 [1,44;2,02]	1,79 [1,46;2,37]	2,02 [1,41;2,30]
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	1,61 [0,90;1,84]	1,71 [0,67;1,96]	1,64 [1,04;2,20]
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	1,64[1,44;1,72]	1,76[0,78;2,06]	1,76[01,43;2,10]
Середня швидкість кровонаповнення, ом/с			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	0,82 [0,73;0,97]	1,00 [0,81;1,30]	1,12 [0,89;1,26]**
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	0,86[0,60;1,04]	1,10[0,93;1,34]*	1,12[0,75;1,33]*
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	0,95[0,74;1,06]	1,15[1,08;1,45]**	1,05[0,96;1,12]
Амплітудно-частотний показник, ом/с			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	1,15 [0,92;1,35]	1,31 [1,06;1,57]*	1,25 [0,93;1,52]*
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	1,16[0,91;1,51]	1,46[1,09;1,80]	1,25[0,97;1,56]
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	1,30[1,16;1,54]	1,44[1,13;1,88]*	1,06[1,00;1,22]*,***
Тривалість анакрити, с			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	0,11 [0,10;0,11]	0,11 [0,10;0,12]	0,11 [0,10;0,12]
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	0,10 [0,09;0,11]	0,11 [0,09;0,12]	0,11 [0,09;0,12]
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	0,11 [0,10;0,11]	0,10 [0,10;0,11]*	0,11 [0,10;0,11]

Примітки: Me, 25%, 75%; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ є порівняно зі станом спокою; $P \leq 0,001$, ***порівняно з відновленням на 5–10-й хвилині.

пульсової хвилі протягом відновлення на 15–20-й хвилині порівняно з 1-ю групою. Бі був підвищений у 3-й групі порівняно з 1-ю та 2-ю групою.

Слід відмітити, що значення TP у 3-й групі в період відновлення на 15–20-й хвилині були вищими, ніж у 2-й та 1-й групах. Це свідчить про сумарну активність вегетативних дій на ритм серця, яка супроводжується вагусною активацією внаслідок збільшенням вищезазначеного показника.

Показник LF, здебільшого був підвищений у осіб 2-ї та 3-ї груп під час впливу на 15–20-й хвилині. Оскільки симпатична та парасимпатична нервова система модулює LF-компоненти [24] і можна було стверджувати, що при збільшенні цього параметра проявляється саме симпатична активність, яка викликає підвищення частоти серцевих скорочень через вплив на атріовентрикуляр-

ний вузол та призводить до збільшення серцевого викиду, однак у нашому дослідженні отримано протилежні значення. Це говорить про індивідуальні фізіологічні особливості та, вірогідно, про вплив парасимпатичної ланки, яка активує властивість вагусного гальмування, що призводить до зменшеної частоти серцевих скорочень [25].

Під час відновлення на 5–10-й хвилині в осіб 1-ї та 2-ї груп значення LF/HF зменшувалося порівняно зі станом спокою, що відображає парасимпатичне домінування. Також добровольці 3-ї групи мали вищі значення цього показника, мабуть, це пов'язано з більш тривалою адаптацією серцево-судинної системи через процеси саморегуляції, без участі центральних структур у формуванні реакції організму після впливу ОП. Фактором зниження симпатичних впливів та посилення вагусної активності в осіб 1-ї та 2-ї групи

Таблиця 3. Порівняльний аналіз параметрів периферичної гемодинаміки між групами

Групи обстежених	Спокій	Відновлення	
		5–10 хв	15–20 хв
Відносний об'ємний пульс, %			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	1,11 [0,93;1,24]	1,14 [0,96;1,28]	1,12 [1,00;1,26]
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	1,15 [0,88;1,27]	1,05 [0,86;1,13]	1,02 [0,91;1,23]*
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	1,11[0,90;1,22]	1,09[0,96;1,48]	1,02[0,94;1,05]*
Тривалість катакрити, с			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	0,77 [0,68;0,84]	0,82 [0,71;0,91]	0,85 [0,76;0,91]
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	0,68[0,62;0,96]	0,78[0,66;0,98]	0,86[0,79;0,92]
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	0,80[0,68;0,90]	0,88[0,66;0,98]	0,96[0,90;1,06]**,#
Базовий імпеданс, ум.од.			
1-ша група (з симпатичним типом нервової системи)	102,60[92,80;108,90]	115,50[100,60;124,20]	109,70[96,40;126,30]
2-га група (з нормотонічним типом нервової системи)	105,5 [96,30;116,80]	122,00[104,20;137,90]	122,00[104,50;136,30]
3-тя група (з парасимпатичним типом нервової системи)	120,20[106,30;126,50]*,#	126,10 [116,20;132,80]	109,70[100,80;118,30]

Примітки: Me, 25%, 75%; *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01 порівняно з 1-ю групою; #P ≤ 0,05 порівняно з 2-ю групою.

під час впливу на 15–20-й хвилині та під час відновлення, свідчить параметр rMSSD. Значення pNN50 вказує на домінування парасимпатичного відділу ВНС в осіб 1-ї та 2-ї груп під час впливу на 15–20-й хвилині. При відновленні на 20-й хвилині виявлено суттєві відмінності в усіх групах, ймовірно, тому, що групи з різним типом ВНС мають різні шляхи активації ядер вагуса. Згідно з дослідженнями Porges і співавт. [26] особи з переважанням активності парасимпатичної нервової системи мають збільшений тонус подвійного і дорсального моторного ядер вагуса порівняно з особами з симпатичною нервовою системою, у яких гальмується активність еферентних ядер вагуса.

Тенденція до збільшення значень V_{\max} в осіб 1-ї і 3-ї груп вказує на збільшення кровообігу великих артерій. Ми припускаємо, що під час впливу ОП зовнішній тиск приладу діє на м'язову тканину та кровonosні судини, що збільшує градієнти артеріовенозного тиску, а згодом посилює швидкість крові внаслідок активної вазодилатації. Оскільки в 2-й групі вищезгаданий показник збільшився лише на 5–10-й хвилині, а потім зменшився на 15–20-й хвилині, ймовірно вплив ОП на реакції кровотоку є миттєвим (або швидким). Тобто вплив ОП міг підвищити кровотік під час процедури, але не на стадії відновлення, що може бути пов'язано з низьким тиском у приладі і вищим венозним тиском у положенні лежачи. Про зміну тонічних властивостей дрібних артерій та артеріол свідчить підвищення $V_{\text{ср}}$ в усіх осіб груп. АЧП характеризує рівень кровопостачання тканин ділянки тіла з якої знімається реограма, тобто є показником артеріального притоку крові. Під час відновлення він підвищився в усіх групах, однак на 15–20-й хвилині в 3-й групі зменшився. Має сенс припустити, що кровотік змінюється більш повільно, ніж тонус судин.

Підвищення тривалості анакрати в 2-й групі свідчить про зміни резистивних властивостей судинної стінки. Оскільки цей показник є відображенням пульсової хвилі

внаслідок підвищення тиску в артеріях та розтягнення стінок артерій під впливом об'єму крові в період систоли, ймовірно, в осіб з нормотонічним типом регуляції автономної нервової системи, в період відновлення на 5–10-й хвилині домінує симпатична іннервація, яка викликає збільшення частоти серцевих скорочень, що відповідає отриманим результатам (з $67,67 \pm 1,47$ до $68,79 \pm 3,77$ хв⁻¹, $P < 0,05$). Слід підкреслити той факт, що в 3-й групі зниження тривалості анакрати є статистично вірогідним. Це вказує на зміни функції серця під час систоли. Також зниження P_t в 2-й та 3-й групах є додатковим фактором зниження кровообігу в нижніх кінцівках внаслідок впливу парасимпатичної нервової системи. Водночас збільшення тривалості анакрати 3-й групі говорить про переважання відтоку крові, зниження об'єму та швидкості кровотоку в нижніх кінцівках. На підставі змін Бі у осіб цієї групи можна зробити висновок, що тривалі адаптивні ефекти стосуються, перш за все, змін ударного об'єму лівого шлуночка.

ВИСНОВКИ

1. Найбільш значимі оптимальні зміни гемодинамічних показників при впливі ОП низької інтенсивності (40 мм рт. ст.) можна досягнути завдяки врахуванню типу регуляції автономної нервової системи. Встановлено, що у всіх групах ОП пригнічує симпатичну активацію. Наші результати підтверджують гіпотезу про ефективність впливу ОП на периферичну гемодинаміку нижніх кінцівок. Виявлено, що в 1-й групі збільшується кровообіг в артеріях великого та середнього калібру та змінюються тонічні властивості дрібних артерій та артеріол внаслідок посилення кровонаповнення тканин нижніх кінцівок через вплив парасимпатичної активації. В 2-й групі збільшується об'єм пульсової хвилі, ймовірно, через домінування парасимпатичної нервової системи та підсилення сили систолічного скорочення. В 3-й групі знижується об'єм та швидкість кровотоку в

нижніх кінцівках, що пов'язано з тривалими адаптивними ефектами серцево-судинної системи.

2. Таким чином, низькоінтенсивний ОП зменшує об'єм венозної крові в периферичних судинах, що в свою чергу зменшує силу скорочення скелетної мускулатури задля повернення залишкового об'єму венозної крові до серця і призводить до зменшення часу терапії. Комбінація таких механізмів значно скорочує термін функціонального відновлення м'язової сили після тривалих фізичних навантажень і може бути профілактичним методом попередження ускладнень при гіподинамії, зокрема в таких галузях, як геріатрія та в постоперативному відновленню пацієнтів.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

D.V. Shesterina¹, A.L. Palamarchuk¹, S.O. Kovalenko²

CHANGES IN HEART RATE VARIABILITY AND PERIPHERAL HEMODYNAMICS DURING INTERMITTENT PNEUMATIC COMPRESSION IN PERSONS WITH DIFFERENT TYPES OF REGULATION OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM

¹ Kyiv Medical University; e-mail: d.shesterina@kmu.edu.ua;

² Cherkasy Bogdan Khmelnytskyi National University

Intermittent pneumatic compression (IPC) widely used in the therapy of preventing the formation of blood clots, improving the oxygenation of peripheral tissues. IPC is an established method in the therapy of post-operative recovery and in geriatrics and sports medicine. The purpose of our study was to determine functional changes in heart rate variability (HRV) and peripheral hemodynamics during exposure to low-intensity IPC depending on different types of regulation of the autonomic nervous system. We investigated 62 participants in age of 18-22 years. Testing sessions that included pressure of 40 mmHg and 20-minute period of temporary occlusion of the lower extremities was performed by intermittent pneumatic

compression with Recovery Pump PRX device ("Mego Aftek AC Ltd", Israel). During the procedure exposure and recovery period, arterial blood pressure was recorded with Korotkov's auscultative method by mercury tonometer ("Dr. Frei" A-10, Switzerland). Heart Rate was monitored using a Cardio Trainer Polar H9 ("Polar Electro Oy", Finland). For monitoring hemodynamic changes, impedance cardiography (ICG) method ("XAI-medica", Kharkiv, Ukraine) was applied by 15 s. Based on the spectrum power values in the range of 0.15–0.4 (HFnorm), 3 groups of volunteers were determined using sigma deviations. Group 1 included 29 volunteers with an advantage of the sympathetic link of regulation of the autonomic nervous system (the background HFnorm was less than 40 nu). Group 2 included 19 persons with a normotonic type of autonomic nervous system regulation (HFnorm from 40 to 60 nu). Group 3 included 14 individuals with predominance of the parasympathetic link of the autonomic nervous system (HFnorm above 60 nu). In conclusion, IPC treatment in groups 1 and 2 inhibited the sympathetic activation, increased the blood flow in the large femoral arteries and tone of small arteries. In group 3, the blood outflow from the lower extremities was predominance, the blood flow volume and speed decreased. Therefore, we conclude effectivity of the low intensity IPC using. Also, HRV and peripheral hemodynamics depend on the types of regulation of the autonomic nervous system.

Key words: peripheral hemodynamics; lower extremity; intermittent pneumatic compression; pressure; autonomic nervous system.

REFERENCES

1. Morris Rhys J, Woodcock John P. Effects of supine intermittent compression on arterial inflow to the lower limb. Arch Surg. 2002;137(11):1269-73.
2. Shesterina DV, Yakynin MO. Changes in blood pressure in the lower extremities during Intermittent Pneumatic Compression. In: The 2nd International Scientific Internet Conference Actual Problems of Physiology and Rehabilitation. 2022 Nov 30; Cherkasy. p. 48-52. [Ukrainian].
3. Takuma Y, Urara N, Nagano K, Kurosaka S, Kawashima H. Effects of different intermittent pneumatic compression stimuli on ankle dorsiflexion range of motion. Front Physiol. 2022;13:1-11.
4. Ren W, Duan Y, Jan Y, 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;19(5):968-77.
5. Li W, Xu G, Huo C, Hui Xie H, Lv Z, Zhao H, Li Z. Intermittent sequential pneumatic compression improves coupling between cerebral oxyhaemoglobin and arterial blood pressure in patients with cerebral infarction. Biology (Basel). 2021;10(9):869
6. Sheldon R, Roseguini B, Thyfault J, Crist B, Laughlin

- M, Newcomer S. Acute impact of intermittent pneumatic leg compression frequency on limb hemodynamics, vascular function, and skeletal muscle gene expression in humans. *J Appl Physiol*. 2012;112(12):2099-109.
7. Yanaoka T, Yoshimura A, Iwata R, Fukuchi M, Hirose N. The effect of foam rollers of varying densities on range of motion recovery. *J Bodyw Mov Ther*. 2021; 26: 64-71.
 8. Palamarchuk AL, Shesterina DV. Modifications in central hemodynamics due to intermittent pneumatic compression effects on the lymphatic system. *Bull Cherkasy Bohdan Khmelnytsky Natl Univ*. 2022;1:56-61. [Ukrainian].
 9. Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. *Sport Med*. 2004;34(1):49-69.
 10. Wiśniowski P, Cieśliński M, Jarocka M, Kasiak P, Makaruk B, Pawliczek W, Wiecha S. Review The effect of pressotherapy on performance and recovery in the management of delayed onset muscle soreness: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2022;11(8).
 11. Wiecha S, Jarocka M, Wiśniowski P, Cieśliński M, Price S, Makaruk B, Kotowska J, Drabarek D, Cieśliński I, Sacewicz T. The efficacy of intermittent pneumatic compression and negative pressure therapy on muscle function, soreness and serum indices of muscle damage: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2021;13(1):3-10.
 12. Tian Y, Fopiano KA, Patel VS, Feher A, Bagi Z. Role of caveolae in the development of microvascular dysfunction and hyperglycemia in type 2 diabetes. *Front Physiol*. 2022;13:13-8.
 13. Behm DG, Wilke J. Do self-myofascial release devices release myofascia? Rolling mechanisms: A narrative review. *Sports Med*. 2019;49(8):1173-81.
 14. Al-Dorzi HM, Al-Dawood A, Al-Hameed FM, Burns K, Mehta S, Jesna J, et al. The effect of intermittent pneumatic compression on deep-vein thrombosis and ventilation-free days in critically ill patients with heart failure. *Sci Rep*. 2022;12(1):8519.
 15. Morris R, Roberts H. Haematological effects of intermittent pneumatic compression for deep vein thrombosis prophylaxis. *J Physiol*. 2020;120(6): 912-23
 16. Kohro S, Yamakage M, Sato K, Sato J-I, Namiki A. Intermittent pneumatic foot compression can activate blood fibrinolysis without changes in blood coagulability and platelet activation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2005;49(5):660-4.
 17. Yamato Y, Higaki Y, Fujie S, Hasegawa N, Horii N, Aoyama H, Yamashina Y, Ogoh S, Iemitsu M. Acute effect of passive one-legged intermittent static stretching on regional blood flow in young men. *Eur J Appl Physiol*. 2021;121(1):331-7.
 18. Delis KT, Azizi ZA, Stevens RJ, Wolfe JH, Nicolaidis AN. Optimum intermittent pneumatic compression stimulus for lower-limb venous emptying. *Eur J Vascul Endovasc Surg*. 2000;19(3): 261-9.
 19. Flam E, Berry S, Coyle A, Dardik H, Raab L. Blood-flow augmentation of intermittent pneumatic compression systems used for prevention of deep vein thrombosis prior to surgery. *Am J Surg*. 1996; 171(3):312-5.
 20. Bickel A, Shturman A, Grevtzev I, Roguin N, Eitan A. The physiological impact of intermittent sequential pneumatic compression (ISPC) leg sleeves on cardiac activity. *Am J Surg*. 2011;202(1):16-22.
 21. Liu Y, Tan X, Cheng Y, Wang B, Zhang H, Zhang L, Liu D, Qi X. Pilot study of effects of intermittent pneumatic compression in the immediate peri-operative period on hemodynamic parameters in patients after laparoscopic gynecologic surgery. *Front Surg*. 2022; 9:1-8.
 22. Lim H, Kim J-W, Lee K, Seo D, Ko S. Hemodynamic effects of different types of pneumatic compression of the lower extremities during anesthesia induction: a prospective randomized controlled trial. *Korean J Anesthesiol*. 2018;71(5):386-93.
 23. Allard M, Hannah L, Saeedi R, Wambolt R, Brownsey R. AMPK and metabolic adaptation by the heart to pressure overload. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2007; 292:140-8.
 24. Kovalenko SO. Analysis of the heart rhythm variability by the median spectrogram method. *Fiziol Zh*. 2005;51(3): 92-5. [Ukrainian].
 25. Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P, Tiwari R, Kumar R. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Curr Cardiol Rev*. 2021;17(5):1-10.
 26. Porges S-W. Polyvagal theory: A science of safety. *Front Integr Neurosci*. 2022;16:1-15.

*Матеріал надійшов
до редакції 17.02.2023*