

## ВПЛИВ ОБ'ЄМНОГО ПНЕВМОПРЕСИНГУ НА ПЕРИФЕРИЧНУ ГЕМОДИНАМІКУ У ОСІБ З РІЗНИМ РІВНЕМ КРОВОНАПОВНЕННЯ НИЖНІХ КІНЦІВОК

©Д. В. Шестеріна<sup>1</sup>, А. Л. Паламарчук<sup>1</sup>, С. О. Коваленко<sup>2</sup>

Київський медичний університет<sup>1</sup>

Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького<sup>2</sup>

**РЕЗЮМЕ.** Одним із терапевтичних методів, що довів свою клінічну ефективність як перспективну альтернативу фармакологічним і хірургічним втручанням, є об'ємний пневмопресинг.

**Мета** – вивчення реакції периферичної гемодинаміки на вплив об'ємного пневмопресингу (ОП) залежно від рівня кровонаповнення нижніх кінцівок.

**Матеріал і методи дослідження.** 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). Зміни параметрів периферичної гемодинаміки визначали за допомогою реовазографії, приладом XAI-medica standard ("XAI-medica", Україна), тривалістю 15 с. Для визначення величини кровонаповнення нижніх кінцівок використали формулу, запропоновану вченими Н. Р. Палесєвим, І. М. Каєвіцером,  $KH=L2/Z$ , де  $KH$  – рівень кровонаповнення нижніх кінцівок,  $L$  – відстань між електродами струму (см),  $Z$  – рівень базового імпедансу (Ом). За значеннями цих показників визначили I групу, з відносно низьким рівнем  $KH$ , від 2,16 до 5,9, ( $n=30$ ) та II групу, з відносно високим  $KH$ , від 6,01 до 11,01, ( $n=32$ ).

**Результати.** Аналіз показників периферичної гемодинаміки між групами виявив, що в період відновлення  $A_1$  збільшувався в осіб II групи,  $A_2$  – зменшувався. Під час відновлення спостерігалось зменшення ФПХ в I групі, а в II – збільшення ІЕСС. Вплив об'ємного пневмопресингу зумовив збільшення  $T$  в I групі, порівняно з станом спокою та періодом відновлення, на 15–20 хв. Показники  $A_c$ ,  $A_d$ ,  $A_i$  та  $PI$  були вищими в обох групах. ЗПОС статистично збільшувався в I групі, а в II групі – знижувався на 5–10 хв.

**Висновки.** Отримані результати вказують, що реакції периферичної гемодинаміки на вплив ОП різняться залежно від індивідуальних особливостей рівня кровонаповнення нижніх кінцівок.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** периферична гемодинаміка; нижні кінцівки; об'ємний пневмопресинг тиск.

**Вступ.** Поширеність захворювань периферичних судин зростає через збільшення кількості випадків ожиріння, діабету, а також старіння населення [1]. Захворювання периферичних судин нечасто зустрічаються у пацієнтів віком до 50 років, але з віком їх поширеність вражає значну кількість людей похилого віку [2].

Захворювання периферичних судин класифікуються як венозні, артеріальні або змішані. Диференційна оцінка має важливе значення для планування стратегій лікування та запобігання подальшій судинній дисфункції.

Лікування поділяється на терапію способу життя, медикаментозне та хірургічне. Терапія способу життя фокусується на фізичних вправах, відмові від куріння та модифікації дієти. Медикаментозна терапія спрямована на зменшення агрегації тромбоцитів. Хірургічні методи лікування включають стенти, артеріоектомію, ангіопластику та шунтування.

Одним із терапевтичних методів, що довів свою клінічну ефективність як перспективну альтернативу фармакологічним і хірургічним втручанням, є об'ємний пневмопресинг [3].

Об'ємний пневмопресинг (ОП) – фізіотерапевтичний метод, в якому діючим фактором є повітряний тиск на обмежену ділянку тіла, тобто локальна баротерапія. У сучасній практиці ділян-

ка тиску циклічно зміщується в межах ділянки тіла, на якій проводять процедуру.

Так, при поєднанні періодів локального підвищення та зниження зовнішнього тиску приладу забезпечується збільшення венозної швидкості та вивільнення крові з вен нижніх кінцівок [3]. Високоінформативним методом, що виключає оклюзивне ураження судин кінцівок (тромбооблітеруючі процеси, атеросклеротичне ураження судин, хвороба Рейно тощо), є реографія.

Тому, знаючи можливі межі варіювання показників, можна скласти загальне уявлення про морфофункціональні особливості судин нижніх кінцівок у конкретного пацієнта й ступінь можливого «анатомічного ризику» [4].

У клінічній практиці одним із прогностичних параметрів виявлення змін кровонаповнення вважають базовий імпеданс або електропровідність досліджуваної ділянки [5]. Наявність прямих кореляційних зв'язків типологічних характеристик із змінами електропровідності досліджуваної ділянки дозволяє судити про зміни об'єму цієї ділянки, її функціонального стану й структури, про дії зовнішніх подразників на організм в цілому. Аналіз значень електричного імпедансу тканин дозволяє дослідити такі параметри, як частота серцевих скорочень, тиск крові, пульсовий об'єм крові, швидкість пульсової хвилі, оці-

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення нити окисно-відновлювальні процеси і зміни тканин [6].

**Мета дослідження** – вивчення реакції периферичної гемодинаміки на вплив ОП залежно від рівня кровонаповнення нижніх кінцівок.

**Матеріал і методи дослідження.** 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 за допомогою трансторакальної тетраполярної імпедансної реоплетизмографії та електрокардіографії, приладом XAI-medica standard ("XAI-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 15 с. Для визначення величини кровонаповнення нижніх кінцівок використали формулу, запропоновану вченими Н. Р. Палеевим, І. М. Каєвіцером:

$$KH=L^2/Z,$$

де KH – рівень кровонаповнення нижніх кінцівок, L відстань між електродами струму (см), Z – рівень

базового імпедансу (Ом). За значеннями цих показників визначили I групу – з низьким рівнем KH – від 2,16 до 5,9, (n=30), та II групу – з високим KH – від 6,01 до 11,01 (n=32). Аналізували наступні показники периферичної гемодинаміки:  $A_1$  – час повільного кровонаповнення, с;  $A_2$  – час швидкого кровонаповнення, с; ФПХ – фазу пульсової хвилі, с; ІЕСС – індекс еластичності судинної стінки, %; Т – час розповсюдження пульсової хвилі, с;  $A_c$  – амплітуду систолічної хвилі, ом; ТК – тривалість катокроти, с;  $A_i$  – амплітуду інцизури, ом;  $A_d$  – амплітуду діастолічної хвилі, ом;  $V_{сер}$  – середня швидкість кровонаповнення, ом/с; PI – реографічний індекс, ом; ЗПОС – загальний периферичний опір судин,  $дин^2 \cdot с \cdot см^{-5}$ .

Отримані результати аналізували за допомогою пакету програм STATISTICA 12.0, методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Результати непараметричних методів аналізу представлено у вигляді медіани (Me) та інтерквартильного розмаху в вигляді 25 і 75 %. Використовували критерій Краскела – Уоллеса.

**Результати й обговорення.** Аналіз проведених досліджень встановив (табл. 1), що в період відновлення  $A_1$  збільшується в осіб II групи, що обумовлено тонусом судин середнього та дрібного діаметрів.  $A_2$  – зменшувався, ймовірно, через тонус артерій розподілу та ударний обсяг серця, що залежить від модуля пружності стінок великих судин. Під час відновлення спостерігалось зменшення ФПК в I групі, яка відображає тривалість викиду крові у кровоносне русло, характеризуючи відносно низький тонус судин нижньої кінцівки [7].

Таблиця 1. Аналіз параметрів периферичної гемодинаміки між групами залежно від різних рівнів тону судин нижніх кінцівок, I група n=30, II група n=32, (Me, 25 %, 75 %)

$A_1$ , с	I група	II група
Спокій	0,072 [0,064;0,080]	0,082[0,070;0,086]
Відновлення 5–10	0,076 [0,068;0,076]	0,099 [0,068;0,102]**
Відновлення 15–20	0,075 [0,068;0,084]	0,087 [0,068;0,108]**
$A_2$ , с	I група	II група
Спокій	0,047 [0,032;0,054]	0,034 [0,023;0,047]
Відновлення 5–10	0,044 [0,028;0,053]	0,052 [0,012;0,045]
Відновлення 15–20	0,047 [0,026;0,056]	0,027 [0,013;0,037]**
ФПХ, с	I група	II група
Спокій	73,1 [69,8;76,7]	73,9[69,7;77,4]
Відновлення 5–10	72,2 [67,5;76,9]	72,2 [65,5;74,6]
Відновлення 15–20	71,6 [66,9;76,0]*	66,5[63,7;73,1]
ІЕСС,%	I група	II група
Спокій	2,56 [1,88;2,71]	5,7[2,2;3,4]**
Відновлення 5–10	4,05 [1,78;2,83]	8,7[2,0;5,8]
Відновлення 15–20	3,81 [1,88;2,57]	9,2[2,3;10,5]***

Примітка.  $p \leq 0,05$  – \*,  $p \leq 0,01$  – \*\*,  $p \leq 0,001$  – \*\*\*, – порівняно з I групою.

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

Спричинений вплив ОП на збільшення ІЕСС, ймовірно, пов'язаний з прямими судинними ефектами та з адаптацією серцево-судинної системи збільшення біодоступності оксиду азоту, зниження вазоконстрикторної активності, підвищення чутливості кардіовагального барорефлексу, або зниження активності симпатичної нервової системи. Будь-яка з цих потенційних змін може призвести до розслаблення гладкої мускулатури судин і зниження тону, але точні механізми ще належить з'ясувати [8].

Згідно з даними, наведеними в таблиці 2, в I групі показник T збільшувався, порівняно зі станом спокою та періодом відновлення, на 15–20 хв, через зміни тону магістральних судин за рахунок компенсаторних реакцій для стабілізації периферичної гемодинаміки. Показник Ac був статистично вищий в обох групах, що обумовлено

збільшенням ударного об'єму. Однак у I групі спостерігається лише тенденція до його підвищення в період відновлення на 5–10 хв, на відміну від осіб II групи. Водночас збільшення ТК говорить про переважання відтоку крові. Параметер Ai був збільшений в усіх групах і характеризує величину периферичного опору в найдрібніших артеріях і артеріолах. Ад також підвищена в обох групах у період відновлення, порівняно з станом спокою, це свідчить про зміни тону малих судин і артеріол, а також опосередковано про стан венозного відтоку. В I групі виявлено незначне кровонаповнення середніх та дрібних артеріол, а в II групі значне підвищення Vсер, що свідчить про збільшення кровонаповнення в мікроциркуляторному руслі нижніх кінцівок. Обрахунок PI був вищим в обох групах, що говорить про високе кровонаповнення судин нижніх кінцівок, через вплив пара-

Таблиця 2. Зміни показників периферичної гемодинаміки в стані спокою та в період відновлення (Me, 25%, 75%)

T, c	I група, n=30	II група, n=32
Спокій	0,155 [0,148;0,164]	0,169 [0,154;0,18]
Відновлення 5–10 хв	0,160 [0,152;0,176]*	0,170 [0,156;0,196]
Відновлення 15–20 хв	0,164 [0,148;0,176]**	0,166 [0,150;0,196]
Ac, Ом	I група	II група
Спокій	0,121 [0,086;0,128]	0,099 [0,080;0,122]
Відновлення 5–10 хв	0,123 [0,086;0,139]	0,128 [0,098;0,147]*
Відновлення 15–20 хв	0,126 [0,103;0,138]*	0,136 [0,111;0,152]***
TК, c	I група	II група
Спокій	0,77 [0,15;0,67]	0,76 [0,63;0,92]
Відновлення 5–10 хв	0,78 [0,14;0,36]	0,84 [0,67;0,96]***
Відновлення 15–20 хв	0,82 [0,15;0,55]**	0,81 [0,66;0,97]***
Ai, ом	I група	II група
Спокій	0,024 [0,016;0,032]	0,024 [0,016;0,033]
Відновлення 5–10 хв	0,034 [0,016;0,036]	0,024 [0,009;0,036]
Відновлення 15–20 хв	0,025 [0,016;0,037]	0,027 [0,013;0,038]#
Ad, ом	I група	II група
Спокій	0,025 [0,016;0,035]	0,021 [0,013;0,032]
Відновлення 5–10 хв	0,026 [0,020;0,033]	0,023 [0,015;0,028]
Відновлення 15–20 хв	0,028 [0,018;0,034]	0,027 [0,019;0,034]*, #
Vсер, ом/с	I група	II група
Спокій	1,00 [0,79;1,04]	1,08 [0,46; 1,01]**
Відновлення 5–10 хв	1,02 [0,73;1,19]	1,22 [0,39; 0,94]***, ##
Відновлення 15–20 хв	1,07 [0,93;1,18]*	0,85 [0,25; 0,76]
PI, ом	I група	II група
Спокій	1,21 [0,85;1,28]	0,99 [0,80;1,22]
Відновлення 5–10 хв	1,22 [0,86;1,39]	1,28 [0,98;1,47]*
Відновлення 15–20 хв	1,26 [1,03;1,38]*	1,33 [1,11;1,52]**
ЗПОС, дін <sup>2</sup> ·с·см <sup>-5</sup>	I група	II група
Спокій	24625 [20517;27069]	35939 [26981;39647]
Відновлення 5–10 хв	60840 [24247;34951]**	31216 [19395;33718]*
Відновлення 15–20 хв	38850 [26946;42917]*	53831 [25801;54774] *, ##

Примітка. \* – p<0,05, \*\* – p<0,01, \*\*\* – p<0,001 порівняно зі станом спокою; # – p<0,05, ## – p<0,01 порівняно з відновленням 5–10 хв.

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення симпатичної ланки автономної нервової системи, яка зумовлює помітний вазодилатаційний ефект. ЗПОС збільшувався в I групі під час відновлення на 5–10 хв, через зміну тисків у венозному та артеріальному кінцях капіляра, при цьому кровотік через периферичні судини залишається незначним, незважаючи на високий тиск в артеріальному кінці капіляра. В II групі він знижувався на 5–10 хв через вплив продуктів метаболізму.

**Висновки.** Реакції периферичної гемодинаміки на вплив ОП різняться в залежності від індивідуальних особливостей рівня кровонаповнення нижніх кінцівок. Так, особи I групи при впливі ОП

мали невисокий тонус судин середніх і дрібних артерій, зміни тонуусу магістральних судин. У II групі спостерігалось збільшення еластичності артерій, що зумовлює зменшення їх тонуусу та призводить до збільшення пульсового артеріального наповнення та його швидкості. В обох групах відбулися зміни тонуусу малих судин і артеріол, що опосередковано свідчить про стан венозного відтоку.

**Перспективи подальших досліджень.** Оскільки відомо, що еластичність стінок артерій нижніх кінцівок є важливим чинником переднавантаження на серце, доцільно вивчити взаємодію судинної системи та властивостей серця.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Hulme O. Development and Validation of a Prediction Model for Atrial Fibrillation Using Electronic Health Records: *JACC* / O. Hulme // *Clin. Electrophysiol.* – 2019 – No. 5 (11). – P. 1331–1341. DOI: 10.1016/j.jacep.2019.07.016.

2. Aboyns V. Epidemiology of lower extremity artery disease / V. Aboyns // *Presse Med.* – 2018. – No. 47 (1). – P. 38–46. DOI: 10.1016/j.lpm.2018.01.012.

3. Шестеріна Д. В. Зміни варіабельності серцевого ритму та периферичної гемодинаміки під час впливу об'ємного пневмопресингу в осіб з різним типом регуляції автономної нервової системи / Д. В. Шестеріна, А. Л. Паламарчук, С. О. Коваленко // *Фізіологічний журнал.* – 2023. – № 69 (2). – С. 62–70.

4. Височанський О. В. Кореляція показників реовазограми стегна з антропометричними показниками у здорових міських підлітків екто-мезоморфного соматичного типу / О. В. Височанський // *Світ медицини та біології.* – 2014. – № 4 (47). – С. 22–24.

5. Yang J. Cerebrovascular Impedance as a Function of Cerebral Perfusion Pressure / J. Yang // *IEEE Open J. Eng. Med. Biol.* – 2023. – No. 4. – P. 96–101. DOI: 10.1109/OJEMB.2023.3236267.

6. Самойленко А. О. Електрофізіологічні дослідження біоелектричного потенціалу в точці живого організму / А. О. Самойленко // *Матеріали XVI міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі»*: збірка матеріалів форуму. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – С. 177–178.

7. Приймак В. Г. Варіабельність серцевого ритму та центральна гемодинаміка в забезпеченні адаптації до фізичних навантажень організму студентів, що спеціалізуються у волейболі / В. Г. Приймак // *Вісник Черкаського університету.* – 2017. – №15. – С. 92–101.

8. Soukup L. Arterial Aging Best Reflected in Pulse Wave Velocity Measured from Neck to Lower Limbs: A Whole-Body Multichannel Bioimpedance Study / L. Soukup // *Sensors (Basel).* – 2022. – No. 22 (5). – P. 1910. DOI: 10.3390/s22051910.

#### REFERENCES

1. Hulme, O. (2019). Development and Validation of a Prediction Model for Atrial Fibrillation Using Electronic Health Records. *JACC Clin. Electrophysiol.*, 5(11), 1331-1341. DOI: 10.1016/j.jacep.2019.07.016.

2. Aboyns, V. (2018). Epidemiology of lower extremity artery disease. *Presse Med.*, 47(1), 38-46. DOI: 10.1016/j.lpm.2018.01.012.

3. Shesterina, D.V., Palamarchuk, A.L., & Kovalenko, S.O. (2023). Zminy variabelnosti sercevoogo rytmu ta periferichnoyi gemodynamiky pid chas vplyvu obyemnoogo pnevmopresynghu v osib z ryznym typom regulyaciyi avtonomnoyi nervovoyi systemy [Changes in heart rate variability and peripheral hemodynamics under the influence of volumetric pneumopressing in individuals with different types of regulation of the autonomic nervous system] *Fiziologichnyi zhurnal – Physiological Journal.* 69(2), 62-70 [in Ukrainian].

4. Vysochanskiy, O.V. (2014). Korelyaciya pokaznykiv reovazogramy stehna z antropometrychnymy pokaznykamy u zdorovykh miskyykh pidlitkiv ekto-mezomorfnoogo soma-

typu [Correlation of femoral rheovasogram indicators with anthropometric indicators in healthy urban adolescents of the ecto-mesomorphic somatic type]. *Svit medycyny ta biologiyi – World of medicine and biology*, 4(47), 22-24 [in Ukrainian].

5. Yang, J. (2023). Cerebrovascular Impedance as a Function of Cerebral Perfusion Pressure. *IEEE Open J. Eng. Med. Biol.*, 4, 96-101. DOI: 10.1109/OJEMB.2023.3236267.

6. Samoilenko, A. (2020). Elektrofizyologichni doslidzhennya bioelektrychnogo potencialu v tochci zhyvogo organizmu [Electrophysiological studies of the bioelectric potential at the point of a living organism]. *Materialy XVI-go mizhnarodnogo forumu molodi «Molod i silskogospodarska tekhnika u XXI storichchi» Zbirka materialiv forumu – Materials of the XVI International Youth Forum "Youth and Agricultural Technology in the 21st Century": a collection of forum materials.* Kharkiv: XNTUSG [in Ukrainian].

7. Pryymak, S. (2017). Variabelnist sercevoogo rytmu ta centralna hemodynamika v zabezpechenni adaptaciyi do fi-

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення  
zuchnykh navantazhen organizmu studentiv, shho specializu-  
yutsya u voleyboli [Variability of heart rate and central hemo-  
dynamics in ensuring adaptation to physical loads of students  
specializing in volleyball]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu –  
Herald of Cherkasy University*, 15, 92-101[in Ukrainian].

8. Soukup, L. (2022). Arterial Aging Best Reflected  
in Pulse Wave Velocity Measured from Neck to Lower  
Limbs: A Whole-Body Multichannel Bioimpedance Study.  
*Sensors (Basel)*, 22(5), 1910. DOI: 10.3390/s22051910.

## INFLUENCE OF INTERMITTENT PNEUMATIC COMPRESSION ON PERIPHERAL PARAMETERS IN PERSONS WITH DIFFERENT LEVELS OF BLOOD FILLING THE LOWER EXTREMITIES

©D. V. Shesterina<sup>1</sup>, A. L. Palamarchuk<sup>1</sup>, S. O. Kovalenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyiv Medical University

<sup>2</sup>Bohdan Khmelnytsky Cherkasy National University

**SUMMARY.** One of the therapeutic methods that has proven its clinical effectiveness as a promising alternative to pharmacological and surgical interventions is intermittent pneumatic compression.

**The aim** – to study of the reaction of peripheral hemodynamics to the effect of intermittent pneumatic compression (IPC) depending on the level of blood filling of the lower extremities.

**Material and Methods.** The group of 62 participants in age of 18–22 years were investigated. Testing session 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). For monitoring hemodynamic changes were applied impedance cardiography (ICG) method: ("XAI-medica", Kharkiv, Ukraine), by 15 sec. Blood filling was calculated according to the formula  $BF=L^2/Z$ , where BF is the level of blood filling of the lower extremities, L – is the distance between the current electrodes (cm), Z – is the level of the basic impedance (Ohm). According to the values of these indicators, the 1<sup>st</sup> group with a low level of BF from 2.16 to 5.9, (n=30) and the 2<sup>nd</sup> group with a high BF from 6.01 to 11.01, (n=32) were determined.

**Results.** The analysis of peripheral hemodynamic indicators between groups revealed that during the recovery period,  $A_1$  increased in individuals of the 2nd group, and  $A_2$  decreased. In the 1st group pulse wave velocity was decreased. In addition, index of vascular wall elasticity was increased in 2<sup>nd</sup> group. Parameter T was increased in the 1st group compared to background and a recovery period of 15–20 min. The amplitude of the systolic and diastolic wave was increased in both groups. Amplitude of incisura amplitude and rheographic index were also higher. Vascular resistance was increased in 1st group and in the 2nd group decreased by 5–10 min.

**Conclusions.** The obtained results indicated that the reactions of peripheral hemodynamics to the influence of IPC depended from the individual values of the level of blood filling of the lower extremities.

**KEY WORDS:** peripheral hemodynamics; lower extremities; intermittent pneumatic compression.

Отримано 12.07.2023

Електронна адреса для листування: