

УДК 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-31-37

Станіслав Олександрович КоваленкоЧеркаський національний університет імені Богдана Хмельницького
kovstas@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-0464>**Іван Сергійович Дзюник**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
ivandzunik@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7491-4116>**Петро Миколайович Гунько**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
gunkopeter@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0609-8550>**Роман Анатолійович Циганник**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
roma.tsygannyk@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-7343>

ВПЛИВ ТИМЧАСОВОЇ ОКЛЮЗІЇ НИЖНІХ КІНЦІВОК НА ЦЕНТРАЛЬНУ ГЕМОДИНАМІКУ АТЛЕТІВ

***Анотація.** Останніми роками значного поширення набули методики тимчасової оклюзії нижніх кінцівок, які використовуються як у тренувальному процесі, так і в реабілітаційних програмах спортсменів. Водночас питання характеру та ступеня цих змін у атлетів в залежності від інтенсивності впливів залишаються недостатньо вивченими, а результати наявних досліджень є суперечливими. Особливої актуальності набуває необхідність визначення безпечності та ефективності тимчасової оклюзії для спортсменів, оскільки надмірне навантаження на серцево-судинну систему може призводити до розвитку функціональних порушень і зниження результативності.*

Вимірювання здійснювали на 30 чоловіках віком 18-25 років - студентах фізкультурно-спортивних спеціалізацій. Оклюзійні впливи виконували на стегнах манжетом для вимірювання артеріального тиску шириною 200 мм упродовж 3 хвилин. Інтенсивність першого впливу складала рівень діастолічного тиску + 50 мм рт.ст.; другого - рівень систолічного тиску + 50 мм рт.ст. Показники центральної гемодинаміки реєстрували реографічним методом.

Як венозна так і артеріальна оклюзія нижніх кінцівок в основному спричиняла зниження всіх показників артеріального тиску, що мало тривалу післядію. Відмічені високі міжіндивідуальні відмінності як у фонових рівнях ударного індексу та серцевого індексу, їх реактивності після венозної та артеріальної оклюзії у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей. Кровонаповнення органів грудної клітки збільшувалось в тривалий період часу після артеріальної оклюзії нижніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у з'ясуванні індивідуальних особливостей реактивності показників центральної гемодинаміки за різних градацій оклюзії нижніх кінцівок.

***Ключові слова:** центральна гемодинаміка; оклюзія нижніх кінцівок; функціональний стан; атлети*

Постановка питання. Актуальність дослідження зумовлена зростаючим інтересом сучасної фізіології до механізмів адаптації серцево-судинної системи спортсменів та осіб різного віку та статі до нестандартних фізіологічних впливів [1]. У спортивній медицині та фізіології особливу увагу приділяють вивченню центральної гемодинаміки як одного з ключових показників функціонального стану організму атлетів, що визначає ефективність кровообігу, рівень працездатності та адаптаційні резерви серцево-судинної системи.

Останніми роками значного поширення набули методики тимчасової оклюзії нижніх кінцівок, які використовуються як у тренувальному процесі, так і в реабілітаційних програмах спортсменів [2, 3]. Водночас питання характеру та ступеня цих змін у атлетів в залежності від інтенсивності впливів залишаються недостатньо вивченими, а результати наявних досліджень є суперечливими.

Особливої актуальності набуває необхідність визначення безпечності та ефективності тимчасової оклюзії для спортсменів, оскільки надмірне навантаження на серцево-судинну систему може призводити до розвитку функціональних порушень і зниження результативності. Дослідження впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на центральну гемодинаміку дозволить поглибити уявлення про адаптаційні механізми організму атлетів, оптимізувати тренувальний процес та удосконалити засоби контролю функціонального стану спортсменів.

Таким чином, вивчення впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на центральну гемодинаміку атлетів є своєчасним і має важливе теоретичне та практичне значення для фізіології спорту, спортивної медицини та системи підготовки атлетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реактивна гіперемія широко використовується для дослідження макросудинної - розширення, опосередковане потоком та мікросудинної - тест на оклюзію судин за допомогою ближньої інфрачервоної спектроскопії функції. Rasica L e.a. [4] отримані суперечливі результати щодо відмінностей у результатах реактивної гіперемії, пов'язаних з рівнем фізичної підготовки та статтю. Втім в дослідженні Giovanna M. e.a. [5] показано, що пікова аеробна потужність, тривалість вправ, максимальний накопичений дефіцит кисню та споживання кисню покращилися під час вправ з надмаксимальною постійною інтенсивністю після шести сеансів оклюзії нижніх кінцівок. Однак комбінований гіпоксичний стрес або часткове оклюзія не призвели до подальшого збільшення пікової аеробної потужності. Метааналіз літератури [6] також надав помірні докази того, що ішемічне прекодиціювання не покращує аеробну здатність здорових дорослих, але сприяє збільшенню часу до виснаження під час аеробних вправ. Результати оклюзії нижніх кінцівок у спортсменів залежали не тільки від її параметрів, а і від ширини оклюзійної манжети [7]. Отже результати впливу оклюзії нижніх кінцівок у спортсменів залежать від багатьох факторів і не завжди односпрямовані.

Разом з цим показано, що ішемічне прекодиціювання може суттєво вплинути на сприйняття болю та підвищити збудливість кортикоспінального тракту під час довільних скорочень [8]. Це може вказувати не тільки на вплив цього тесту на кровообіг, але й на діяльність вегетативної нервової системи. Втім знайдене тільки одне дослідження [9] в котрому у дослідах на мишах доведено, що оклюзія кінцівок пов'язана зі змінами активності вегетативної нервової системи (частота серцевих скорочень, кровотік, ВСР) та легким ішемічним стресом міокарда, що сприяє кардіопротекції.

Сучасний спорт високих досягнень характеризується постійним пошуком інноваційних методів інтенсифікації тренувального процесу та прискорення відновлення. Одним із таких методів, що набув значної популярності останніми роками, є тренування з обмеженням кровотоку (Blood Flow Restriction Training, BFRT) або використання дистальної оклюзії для стимуляції адаптаційних механізмів [10].

Тому актуальним є дослідження впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на показники центральної гемодинаміки які відображають не тільки особливості змін тону вегетативної нервової системи, але й функціонування серцево-судинної системи в цілому.

Мета. З'ясувати особливості показників центральної гемодинаміки при різних рівнях тимчасової оклюзії нижніх кінцівок у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей.

Методи дослідження. Вимірювання здійснювали на 30 чоловіках віком 18-25 років - студентах фізкультурно-спортивних спеціалізацій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, Гельсінської декларації Всесвітньої медичної

асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 pp.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23 вересня 2009 року.

Всі вони за даними медичного обстеження були здорові, не мали гострих та хронічних захворювань.

Спочатку на та грудну клітку обстежуваного накладали електроди реографа, вимірювали артеріальний тиск. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально упродовж 5-10 хвилин здійснювали двохвилинну реєстрацію реограми грудної клітки. Вимірювання повторювали з 1-ї, 10-ї та 20-ї хвилинах після припинення оклюзійних впливів.

Оклюзійні впливи виконували на стегнах манжетою для вимірювання артеріального тиску шириною 200 мм упродовж 3 хвилин. Інтенсивність першого впливу (венозна оклюзія – В) складала рівень діастолічного тиску ($AT_{діаст}$) + 50 мм рт.ст.; другого (артеріальна оклюзія – А) - рівень систолічного тиску ($AT_{сист}$) + 50 мм рт.ст.

Систолічний ($AT_{сист}$) та діастолічний ($AT_{діаст}$) артеріальний тиск вимірювали за допомогою тонометра Короткова (Reiker, Germany). Середній артеріальний тиск ($AT_{сер}$) розраховували за формулою Хікема. Для оцінки гемодинамічних показників використовували трансоракальну тетраполярну імпедансну реоплетизмографію. Реоплетизмограму грудної клітки реєстрували на реографі XAI-medica standard (XAI-medica, Харків, Україна). За сигналами диференційованої реограми грудної клітки та електрокардіограми в програмі цього розробника розраховували наступні показники центральної гемодинаміки.

Тривалість інтервалу RR (t-RR) – відстань між найвищими ділянками зібців R сусідніх кардіоінтервалів.

Ударний індекс (VI) знаходили шляхом поділу ударного об'єму крові на площу поверхні тіла. Ударний об'єм розраховували за методом Kubichek .

Серцевий індекс (CI) знаходили шляхом поділу хвилинного об'єму крові на площу поверхні тіла.

З показників кардіодинаміки оцінювали наступні: тривалість фази вигнання ($T_{вигн}$), тривалість фази напруження ($T_{напр}$), об'єму швидкість серцевого викиду (ОШВ).

Крім цього розраховували рівень кровонаповнення органів грудної клітки (КНП) як відношення квадрату відстані між грудними електродами реографа до електричного опору грудної клітки.

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA). Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм χ^2 . Для параметричної статистики розраховували середнє арифметичне (M), стандартну похибку вибіркового середнього (m). Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Fisher [11].

Результати та їх обговорення. Показники артеріального тиску в спокої лежачи та після оклюзійних впливів у вимірюваних представлені в табл.

Таблиця

Показники артеріального тиску ($M \pm m$) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (В – інтенсивність $AT_{діаст} + 50$ мм рт.ст.;

А - $AT_{сист} + 50$ мм рт.ст.)

Умови	$AT_{сист}$, мм рт.ст.	$AT_{діаст}$, мм рт.ст.	$AT_{сер}$, мм рт.ст.
спокій	128,33±1,71	74,56±1,74	92,48±1,57
В 1 хв	125,96±1,72	71,81±1,44	89,86±1,44
В 10 хв	125,37±1,39	69,78±1,37*	88,31±1,23*
В 20 хв	124,41±1,59*	69,74±1,54*	87,96±1,40*
А 1 хв	124,56±1,46*	69,15±1,53*	87,62±1,28*
А 10 хв	123,70±1,43*	69,81±1,45*	87,73±1,28*
А 20 хв	124,26±1,38*	70,81±1,52*	88,63±1,37*

Примітка. * - $p < 0,05$ в порівнянні з рівнем у спокої

В стані спокою систолічний артеріальний тиск був дещо підвищений в порівнянні з загальноприйнятими нормами для такого віку. Подібна закономірність характерна для спортсменів, що виконують значні об'єми тренувальних навантажень була відмічена нами раніше [12].

Після першого оклюзійного впливу 10 хвилин не відбувалось зрушення цього показника у порівнянні з фоном і тільки на 20-й хвилині відновлення спостерігали вірогідне збільшення зниження його рівня. Зменшення діастолічного та середнього артеріального тиску реєстрували вже на 10-й хвилині після венозної оклюзії. Після другого впливу, що супроводжувався пережиманням артерій, упродовж всіх 20 хвилин реєстрації відбувалось зменшення по відношенню до фону всіх показників артеріального тиску.

Аналіз реактивності цих показників не виявив відмінностей у амплітуді змін між 1-м та 2-м впливами за винятком різниць у зниженні АТсер на 1-й хвилині після першого ($-2,62 \pm 0,9$ мм рт.ст) та другого ($-4,86 \pm 1,20$ мм рт.ст., $P < 0,05$). Цілком ймовірно це може пояснюватись високою девіантністю реакцій артеріального тиску у різних спортсменів. Артеріальна оклюзія може викликати більшу реакцію системного артеріального тиску одразу ж після її припинення.

Таким чином як венозна так і артеріальна оклюзія в основному спричиняла зниження всіх показників артеріального тиску, що мало тривалу післядію.

Показники серцевого викиду при експериментальних впливах вірогідно не змінювались. Разом з цим були відмічені високі міжіндивідуальні відмінності як у фонових рівнях УІ та СІ, так і в їх реактивності після венозної та артеріальної оклюзії. Також не знайдено відмінностей у рівнях та реактивності тривалості фаз напруження та вигнання.

Втім аналіз швидкості вигнання крові з серця показав, що цей показник зростав на 20-й хвилині після кожної оклюзії (рис. 1). Це може бути як наслідком розширення периферійних судин так і зменшення частоти серцевих скорочень.

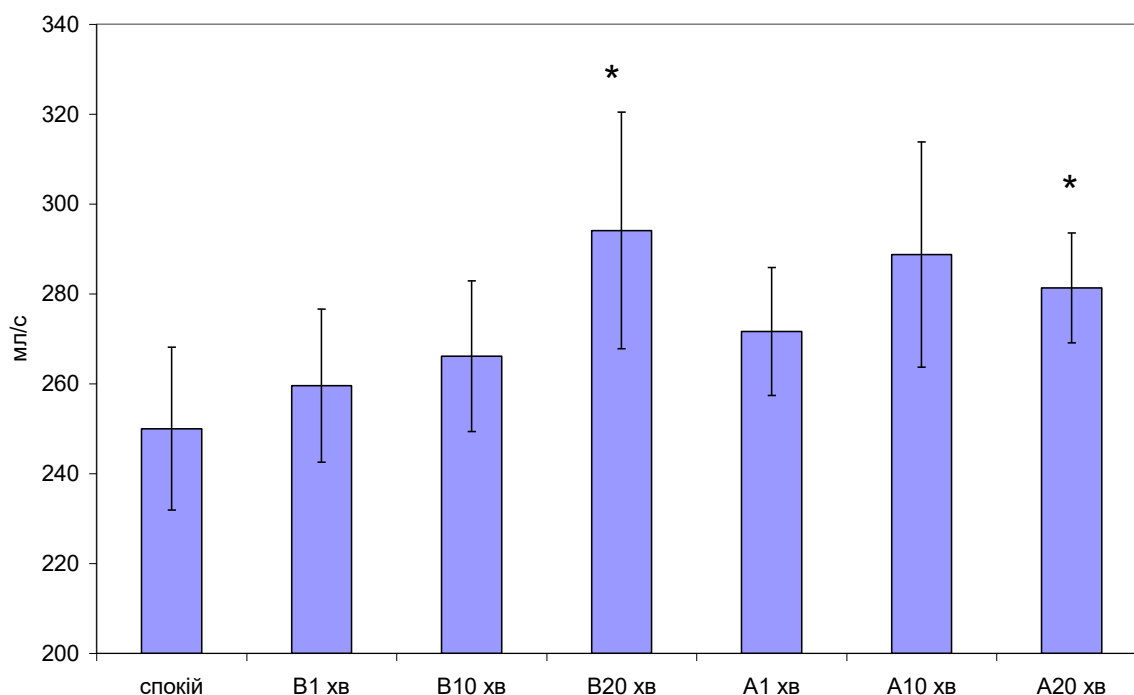


Рис. 1. Рівні об'ємної швидкості серцевого викиду ($M \pm m$) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей в спокої лежачи та після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (В – інтенсивність АТ_{діаст}+50 мм рт.ст.; А – АТ_{сист}+50 мм рт.ст.).

* – $p < 0,05$ в порівнянні з фоном

Зміни кровонаповнення органів грудної клітки при проведенні впливів характеризувались наступним (рис. 2).

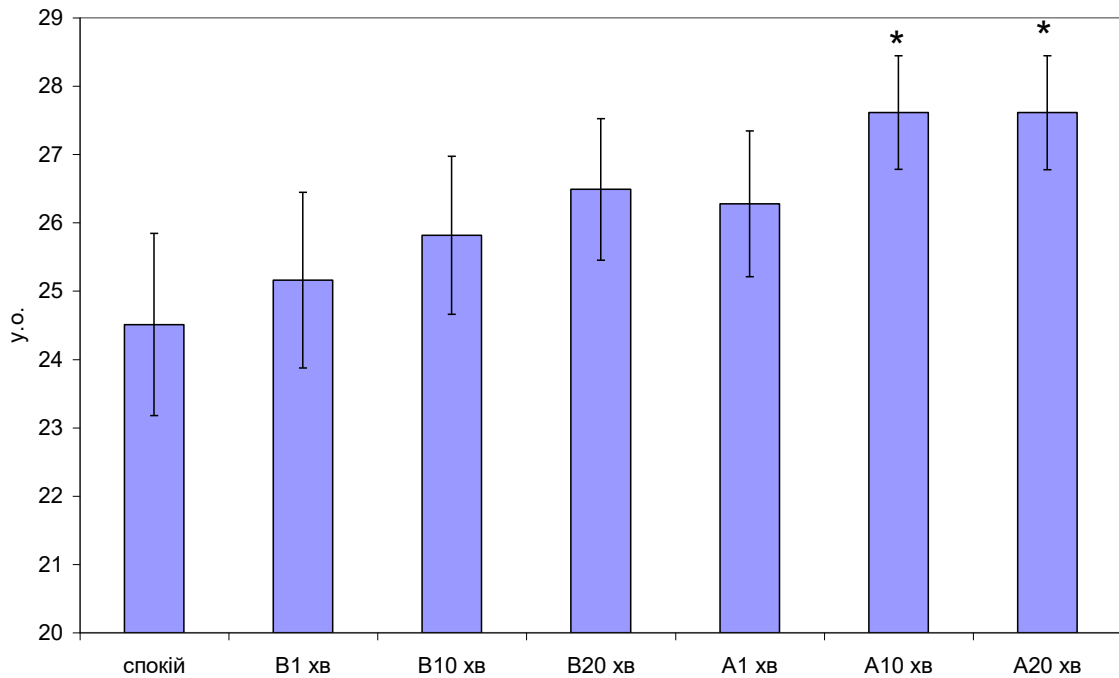


Рис. 2. Рівні кровонаповнення органів грудної клітки ($M \pm m$) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей в спокої лежачи та після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (B – інтенсивність $AT_{\text{діаст}} + 50$ мм рт.ст.; A – $AT_{\text{сист}} + 50$ мм рт.ст.).
* – $p < 0,05$ в порівнянні з фоном

Статистично значущим було збільшення цього показника в порівнянні з фоном на 10-й та 20-й хвилині після артеріальної оклюзії. Реактивність КНП вірогідно вищою на 10-й хвилині після артеріальної оклюзії ніж на 10-й хвилині після венозної.

Таким чином як венозна так і артеріальна оклюзія призводили до суттєвих змін центральної гемодинаміки, що мали широкий міждивідуальний розкид.

Висновки

1. Як венозна так і артеріальна оклюзія нижніх кінцівок, в основному, спричиняла зниження всіх показників артеріального тиску, що мало тривалу післядію.
2. Відмічені високі міжіндивідуальні відмінності як у фонових рівнях ударного індексу та серцевого індексу, їх реактивності після венозної та артеріальної оклюзії у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей.
3. Кровонаповнення органів грудної клітки збільшувалось в тривалий період часу після артеріальної оклюзії нижніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень. Вбачаються у з'ясуванні індивідуальних особливостей реактивності показників центральної гемодинаміки за різних градацій оклюзії нижніх кінцівок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I. Peculiarities of male and female heart rate variability // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2013. – Issue 15. – P.17-20
2. Martin PM, Bart RM, Ashley RL, Velasco T, Wise SR. An Overview of Blood Flow Restriction Physiology and Clinical Considerations. Curr Sports Med Rep. 2022 Apr 1;21(4):123-128. doi: <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000948>
3. French C, Robbins D, Gernigon M, Gordon D. The effects of lower limb ischaemic preconditioning: a systematic review. Front Physiol. 2024 Jan 11;14:1323310. doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1323310>
4. Rasica L, Inglis EC, Iannetta D, Soares RN, Murias JM. Fitness Level- and Sex-Related Differences in Macrovascular and Microvascular Responses during Reactive Hyperemia. Med Sci Sports Exerc. 2022 Mar 1;54(3):497-506. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002806>

5. Giovanna M, Solsona R, Sanchez AMJ, Borrani F. Effects of short-term repeated sprint training in hypoxia or with blood flow restriction on response to exercise. *J Physiol Anthropol.* 2022 Sep 3;41(1):32. doi: <https://doi.org/10.1186/s40101-022-00304-1>
6. Zhou L, Gan J, Tan Y, Zhang Y, Bao D, Zhou J. Can lower limb ischemic preconditioning improve aerobic capacity in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2025 Jan 1;50:1-18. doi: <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0456>
7. Brown H, Binnie MJ, Dawson B, Bullock N, Scott BR, Peeling P. Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. *Eur J Sport Sci.* 2018 Apr;18(3):387-396. doi: <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1421712>
8. Norbury R, Grant I, Woodhead A, Patterson SD. Acute hypoalgesic and neurophysiological responses to lower-limb ischaemic preconditioning. *Exp Brain Res.* 2025 Jan 8;243(1):41. doi: <https://doi.org/10.1007/s00221-024-06985-7>
9. Abdul-Ghani S, Fleishman AN, Khaliulin I, Meloni M, Angelini GD, Suleiman MS. Remote ischemic preconditioning triggers changes in autonomic nervous system activity: implications for cardioprotection. *Physiol Rep.* 2017 Feb;5(3):e13085. doi: 10.14814/phy2.13085.
10. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2021 Jun;49(7):1938-1944. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546520964454>. Epub 2020 Nov 16.
11. Glantz S.A. *Primer of biostatistics.* 7th edition, McGraw-Hill: Medical, New York, 2012, 320 p.
12. Kalenichenko Aleksej; Kovalenko Stanislav; Tokar Svetlana; Harchenko Dmitriy. Features of blood pressure in student-athletes from different directions of the training process// *Pedagogics psychology medical-biological problems of physical training and sports*, 2011, V.11, P. 55-58.

REFERENCES

1. Kovalenko, S. O., Kudij, L. I., & Lutsenko, O. I. (2013). Peculiarities of male and female heart rate variability. *Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences*, (15), 17–20.
2. Martin, P. M., Bart, R. M., Ashley, R. L., Velasco, T., & Wise, S. R. (2022). An overview of blood flow restriction physiology and clinical considerations. *Current Sports Medicine Reports*, 21(4), 123–128. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000948>
3. French, C., Robbins, D., Gernigon, M., & Gordon, D. (2024). The effects of lower limb ischaemic preconditioning: A systematic review. *Frontiers in Physiology*, 14, 1323310. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1323310>
4. Rasica, L., Inglis, E. C., Iannetta, D., Soares, R. N., & Murias, J. M. (2022). Fitness level- and sex-related differences in macrovascular and microvascular responses during reactive hyperemia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(3), 497–506. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002806>
5. Giovanna, M., Solsona, R., Sanchez, A. M. J., & Borrani, F. (2022). Effects of short-term repeated sprint training in hypoxia or with blood flow restriction on response to exercise. *Journal of Physiological Anthropology*, 41(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s40101-022-00304-1>
6. Zhou, L., Gan, J., Tan, Y., Zhang, Y., Bao, D., & Zhou, J. (2025). Can lower limb ischemic preconditioning improve aerobic capacity in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 50, 1–18. <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0456>
7. Brown, H., Binnie, M. J., Dawson, B., Bullock, N., Scott, B. R., & Peeling, P. (2018). Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. *European Journal of Sport Science*, 18(3), 387–396. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1421712>
8. Norbury, R., Grant, I., Woodhead, A., & Patterson, S. D. (2025). Acute hypoalgesic and neurophysiological responses to lower-limb ischaemic preconditioning. *Experimental Brain Research*, 243(1), 41. <https://doi.org/10.1007/s00221-024-06985-7>
9. Abdul-Ghani, S., Fleishman, A. N., Khaliulin, I., Meloni, M., Angelini, G. D., & Suleiman, M. S. (2017). Remote ischemic preconditioning triggers changes in autonomic nervous system activity: Implications for cardioprotection. *Physiological Reports*, 5(3), e13085. <https://doi.org/10.14814/phy2.13085>
10. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2021 Jun;49(7):1938-1944. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546520964454> Epub 2020 Nov 16..
11. Glantz S.A. *Primer of biostatistics.* 7th edition, McGraw-Hill: Medical, New York, 2012, 320 p.
12. Kalenichenko, A., Kovalenko, S., Tokar, S., & Harchenko, D. (2011). Features of blood pressure in student-athletes from different directions of the training process. *Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, 11, 55–58.

Stanislav Kovalenko, Ivan Dziunyk, Petro Gunko, Roman Tsyhannyk.

THE EFFECT OF TEMPORARY OCCLUSION OF THE LOWER LIMBS ON THE CENTRAL HEMODYNAMICS OF ATHLETES

Introduction. In recent years, methods of temporary occlusion of the lower limbs have become increasingly widespread and are used both in the training process and in rehabilitation programs for

athletes. At the same time, the nature and extent of these changes in athletes depending on the intensity of the interventions remain insufficiently studied, and the results of existing studies are contradictory. The need to determine the safety and effectiveness of temporary occlusion for athletes is of particular relevance, since excessive stress on the cardiovascular system may lead to the development of functional disorders and reduced performance.

Objective. To determine the characteristics of central hemodynamic parameters under different levels of temporary lower limb occlusion in students specializing in physical culture and sports

Methods of the study. Measurements were conducted on 30 male students aged 18–25 years specializing in physical culture and sports. Occlusion was applied to the thighs using a 200 mm-wide blood pressure cuff for 3 minutes. The intensity of the first intervention corresponded to the level of diastolic blood pressure + 50 mmHg; the second intervention corresponded to the level of systolic blood pressure + 50 mmHg. Central hemodynamic parameters were recorded using the rheographic method.

Main results of the study. Both venous and arterial occlusion of the lower limbs generally caused a decrease in all blood pressure parameters, with a prolonged aftereffect. High interindividual differences were observed both in the baseline levels of stroke index and cardiac index and in their reactivity after venous and arterial occlusion among students specializing in physical culture and sports. Blood filling of the thoracic organs increased for a prolonged period after arterial occlusion of the lower limbs.

Scientific novelty of the study results. For the first time, a comparative analysis of the effects of short-term venous and arterial occlusion on the functional state of hemodynamics in students specializing in physical culture and sports was carried out.

Conclusions and specific suggestions of the author. Prospects for further research lie in clarifying the individual characteristics of central hemodynamic parameter reactivity under different gradations of lower limb occlusion.

Keywords: central hemodynamics; lower limb occlusion; functional status; athletes

Надійшла до редакції / Received: 10.05.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026