

УДК 612.172-008.3-053.3/.5+616.74-007.23:612.2

DOI: [https://doi.org/10.24144/1998-6475.2025.3.\(69\).15-21](https://doi.org/10.24144/1998-6475.2025.3.(69).15-21)

КОРЕКЦІЯ АВТОНОМНОЇ ДИСФУНКЦІЇ У ДІТЕЙ І ПІДЛІТКІВ ІЗ ФІЗІОЛОГІЧНОЮ САРКОПЕНІЄЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ДІАФРАГМАЛЬНОГО ДИХАННЯ У РЕЖИМІ БІОЛОГІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Паламарчук О. С. (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6783-8380>), Петрук К. Ю. (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5696-549x>), Вадзюк С. Н. (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9105-8205>)

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», медичний факультет №2, кафедра фізіології та патофізіології, м. Ужгород

Резюме. *Вступ.* Фізіологічна саркопенія в дітей шкільного віку нерідко супроводжується симптомами автономної дисфункції, що знижує якість життя та адаптаційні можливості дитини. Одним із перспективних немедикаментозних підходів до корекції вегетативного дисбалансу є застосування діафрагмального дихання з біологічним зворотним зв'язком. Ця методика потенційно здатна впливати на функціональний стан автономної нервової системи через регуляцію варіабельності серцевого ритму.

Мета дослідження. Оцінити ефективність діафрагмального дихання з біологічним зворотним зв'язком у корекції автономної дисфункції в дітей із фізіологічною саркопенією.

Матеріали та методи. Обстежено дітей молодшого шкільного віку з ознаками фізіологічної саркопенії та клінічними проявами вегетативної дисфункції. Оцінку стану автономної регуляції здійснювали за показниками варіабельності серцевого ритму (ВСР) до та після курсу діафрагмального дихання з біологічним зворотним зв'язком. Методика включала 10 сеансів тренувань із контролем частоти дихання, респіраторного синуса аритмії та параметрів спектрального аналізу ВСР.

Результати досліджень. Після курсу дихальної терапії виявлено статистично значуще зростання індексу вагусу (HF), а також зниження LF/HF-співвідношення. У дітей, котрі проходили тренування з біологічним зворотним зв'язком, спостерігалася краща динаміка показників ВСР порівняно з контрольною групою, яка отримувала лише загальнозміцнювальні рекомендації.

Висновки. Діафрагмальне дихання з біологічним зворотним зв'язком є ефективним немедикаментозним методом покращення показників вегетативної регуляції у дітей із фізіологічною саркопенією та проявами автономної дисфункції. Метод сприяє відновленню балансу між симпатичною та парасимпатичною ланками нервової системи.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, саркопенія, автономна дисфункція, біологічний зворотний зв'язок, діафрагмальне дихання.

Correction of autonomic dysfunction in children and adolescents with physiological sarcopenia using diaphragmatic breathing in biofeedback mode

Palamarchuk O.S., Petryk K.Yu., Vadzyuk S.N.

Abstract. *Introduction.* Physiological sarcopenia in school-aged children is often accompanied by signs of autonomic dysfunction, negatively affecting quality of life and adaptation. Diaphragmatic breathing with biofeedback is a promising non-pharmacological method for correcting autonomic imbalance by modulating heart rate variability (HRV), which reflects autonomic nervous system function.

Aim. To evaluate the effectiveness of diaphragmatic breathing with biofeedback in correcting autonomic dysfunction in children with physiological sarcopenia.

Methods. Children with signs of physiological sarcopenia and symptoms of autonomic dysfunction were examined. HRV indices were assessed before and after a course of diaphragmatic breathing with biofeedback. The intervention consisted of 10 training sessions with controlled breathing frequency and real-time feedback on respiratory sinus arrhythmia and HRV spectral parameters.

Results. Post-intervention analysis showed a significant increase in the vagal tone index (HF) and a decrease in the LF/HF ratio. The intervention group demonstrated a more favorable dynamic in HRV parameters compared to the control group receiving general lifestyle recommendations.



Conclusions. Diaphragmatic breathing with biofeedback is an effective non-pharmacological approach to improving autonomic regulation in children with physiological sarcopenia and signs of autonomic dysfunction. The method contributes to restoring the balance between sympathetic and parasympathetic activity.

Key words: heart rate variability, sarcopenia, autonomic dysfunction, biofeedback, diaphragmatic breathing.

Вступ.

У останні десятиліття спостерігається зростання частоти функціональних розладів автономної нервової системи (АНС) у дітей та підлітків, що проявляється у вигляді автономної дисфункції (АД) з переважанням симпатикотонії, нестабільного серцевого ритму, лабільного артеріального тиску, порушень адаптації до фізичного та емоційного навантаження [1,2]. Цей стан значно знижує якість життя молодого населення і є фактором ризику формування соматичних та психосоматичних захворювань у дорослому віці [3].

Фізіологічна саркопенія, що супроводжується зниженням тону м'язової мускулатури, зокрема дихальних м'язів, є характерною рисою окремих груп дітей та підлітків у період активного росту й гіподинамії [4,5,6]. Відомо, що саркопенія впливає не лише на соматичний статус, але й порушує механізми регуляції серцево-судинної та вегетативної систем, зокрема через зниження ефективності респіраторного контролю [7]. У цьому контексті привертає увагу діафрагмальне дихання (ДД) як неінвазивний, безпечний метод нормалізації вегетативного гомеостазу [8]. Доведено, що повільне дихання, особливо при цільовій активації діафрагмального компонента, здатне покращувати варіабельність серцевого ритму (HRV), сприяючи переважанню парасимпатичної активності. Використання біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ) під час дихальних сесій дозволяє персоніфікувати вплив та оптимізувати адаптивні реакції, підвищуючи ефективність інтервенції [9].

Використання біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ) під час сеансів діафрагмального дихання дозволяє пацієнтам отримувати візуальний або аудіальний фідбек про фізіологічні процеси в їхньому організмі, що сприяє підвищенню усвідомленості та ефективності тренувань. Застосування БЗЗ у дітей та підлітків може бути корисним для навчання навичкам релаксації та саморегуляції [10].

Незважаючи на теоретичне обґрунтування ефективності діафрагмального дихання з БЗЗ для корекції автономної дисфункції у дітей та підлітків з фізіологічною саркопенією, емпіричних досліджень у цій галузі недостатньо. Тому проведення подальших досліджень

є необхідним для розробки ефективних немедикаментозних підходів до профілактики та лікування автономних розладів у молодому віці.

Мета дослідження

З'ясувати можливість немедикаментозної корекції функціонального стану АНС у дітей і підлітків із фізіологічною саркопенією шляхом керованого діафрагмального дихання у режимі біологічного зворотного зв'язку.

Матеріали та методи

До дослідження було залучено 22 дітей віком від 10 до 13 років, серед яких – 12 осіб жіночої та 10 чоловічої статі, котрі проходили оздоровлення у Закарпатському обласному дитячому санаторії «Малютко» протягом двотижневого періоду. Проведення дослідницьких процедур здійснювалося відповідно до етичних стандартів біомедичних досліджень із попереднім отриманням письмової інформованої згоди законних представників учасників. Критеріями включення до вибірки слугували підтверджені прояви саркопенічних змін, виявлені шляхом аналізу складу тіла методом біоелектричного імпедансу та об'єктивних показників м'язової сили за допомогою динамометрії, а також наявність вегетативної дисфункції, діагностованої на основі параметрів варіабельності серцевого ритму.

Аналіз морфофункціональних характеристик тіла здійснювався з використанням сегментарного багаточастотного біоелектричного імпедансного аналізатора «TANITA MC-780 MA» (Японія), який дозволяє отримати показники компонентного складу тіла в режимі прямого вимірювання. Паралельно проводилось антропометричне визначення довжини тіла (L, м) за допомогою сертифікованого ростоміра виробництва GIMA (Італія). Обстеження проводили у ранковий період доби, після стандартної адаптації тривалістю не менше 10 хвилин, в умовах попереднього інформування пацієнтів щодо процедури. Під час вимірювання суб'єкт знаходився у вертикальному положенні та вступав у контакт із чотирма парами електродів: нижні електроди активувалися при встановленні стоп на платформу приладу, верхні – при утриманні ручок



електродів долонями. Тривалість процедури складала 20 секунд.

З метою діагностики саркопенії визначали саркопенічний індекс (SI, кг/м²), розрахований на основі безжирової маси скелетних м'язів нижніх та верхніх кінцівок, а також проводили вимір сили м'язового стискання кисті (GS, кг) із застосуванням електронного динамометра Handexer Grip Strength Tester (США). Критерієм встановлення саркопенії вважалося одночасне зниження обох параметрів – SI та GS – до значень, що знаходяться нижче 25-го перцентилія нормативних референсних меж відповідно до віку та статі обстежуваних.

Для діагностики автономної дисфункції (АД) використовували апаратно-програмний комплекс HRV-scanner (Biosign, ФРН) [10]. Результати дослідження інтерпретували на основі концепції «Тонус, Гнучкість, Динаміка», яка передбачає структурування численних параметрів варіабельності серцевого ритму (BCP) з метою їх узагальнення та диференціальної оцінки.

Для оцінки стану нейровегетативної регуляції використовували два стандартні визначення показників BCP шляхом реєстрації 1-го відведення ЕКГ у стані спокою в положенні сидячи в умовах спонтанного дихання обстежуваних. Як показники BCP були використані такі показники часового домену:

SDNN, мс (Standard Deviation of NN intervals) – стандартне відхилення усіх нормальних інтервалів R-R, яке відображає сумарний вплив симпатичного та парасимпатичного відділів АНС.

RMSSD, мс (Root Mean Square of Successive Differences) – квадратичний корінь із середнього квадрату різниць між послідовними R-R інтервалами. Вважається чутливим маркером парасимпатичної активності (вагального тону).

NN50% (Percentage of NN50) – відсоток NN50 від загальної кількості R-R інтервалів. Корелює з парасимпатичною активністю.

Окрім цього визначалися показники частотного домену (Frequency Domain) АНС, отримані за допомогою спектрального аналізу кривої варіабельності серцевого ритму за 5-хвилинний стаціонарний період:

TP мс² (Total Power) – сумарна потужність спектру (0,0033–0,4 Гц). Відображає загальну активність автономної регуляції.

LF, мс² (Low Frequency, 0,04–0,15 Гц) – потужність низькочастотного діапазону. Пов'я-

зана з барорецепторною активністю та відображає змішану симпатичну / парасимпатичну регуляцію.

HF, мс² (High Frequency, 0,15–0,4 Гц) – потужність високочастотного діапазону. Корелює з дихальним ритмом і парасимпатичною активністю.

LF/HF ratio – співвідношення потужностей LF / HF. Використовується для оцінки балансу між симпатичною та парасимпатичною системами

VLF, мс² (Very Low Frequency, 0,0033–0,04 Гц) – потужність наднизькочастотного діапазону. Фізіологічне значення цього діапазону не до кінця зрозуміле, але може бути пов'язане з вищими автономними центрами гіпоталамусу та лімбічної системи.

LF%, HF%, VLF% – відсотковий вклад кожного із діапазонів у TP. Отримані дані були перевірені на предмет нормальності розподілу та опрацьовані методом парних порівнянь двох залежних вибірок з використанням критерію Стьюдента. Відмінності вважалися статистично значущими при $p < 0,05$.

Реєстрація показників здійснювалася до початку 10-денного курсу діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку та після його завершення.

Під час дослідження HRV-біофідбеку дитина мала можливість спробувати три різні режими, доступні в HRV-Scanner. У базовому налаштуванні на екрані з'являлась сцена, яка мала розслаблюючий ефект – наприклад, різні пейзажі, які були доступні в налаштуваннях. Крім того, візуалізувалися параметри біофідбеку через об'єкти, такі як повітряна кулька чи метелик, що рухались в ритмі дихання. Спокійна фонову музика та голосові інструкції допомагали дитині швидко й ефективно розслабитися. Зліва на екрані була розташована допомога для дихання, яка вказувала на ритм дихання. Праворуч розміщувалася шкала, яка показувала прогрес під час вправи. На нижній частині екрана були додаткові налаштування: показник поточної HRV, біосигнали, частота серцебиття, а також налаштування для детекції серцевого ритму і налаштування чутливості біосигналів. Як тільки 3-хвилинний час вимірювання закінчувався, система сповіщала про успішне завершення дослідження.

Важливою частиною цього дослідження була методика дихання, яка мала забезпечити певну ритмічність серцевого ритму і дихання. Коли дитина дихала у відповідності



до цього ритму, серце реагувало відповідним чином, збільшуючи або зменшуючи частоту серцебиття залежно від вдиху та видиху. Важливою метою було досягти стану «когерентності», або гармонії між диханням і серцебиттям. Це відбувалося, коли дихання і серце працювали синхронно, що сприяло активації «внутрішнього гальма» – парасимпатичної нервової системи. У цей момент дитина мала можливість побачити, як її серце реагує на дихання і наскільки добре досягається ритм. На екрані був барвистий індикатор, який показував рівень ритмічності. Якщо індикатор був червоним, це означало, що ритм серця і дихання не був узгоджений, і серцевий ритм був нерегулярним. Як тільки дихання і серце синхронізувались, кольорова шкала змінювалася, вказуючи на поліпшення. Протягом цієї

вправи дитина зосереджувалась на кольоровій шкалі та об'єкті на екрані (наприклад, метелику або кульці), спостерігаючи, як змінюється рівень ритмічності та як добре їй вдається «привести» своє серце і дихання в стан когерентності.

Усі процедури, що проводилися в межах дослідження, відповідали етичним стандартам етичної комісії та положенням Генсільської декларації.

Результати досліджень

У таблиці представлені дані, які відображають динаміку показників варіабельності серцевого ритму у групи обстежених осіб до та після проходження курсу з 10 сеансів діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку.

Таблиця

Динаміка показників ВСР під впливом 10-денного курсу діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку (M±SD, n=22).

Показник	До курсу	Після курсу	Відносна зміна	p
SDNN, мс	43,6±7,1	59,6±6,5	↑ 36,7%	0,001
RMSSD, мс	22,4±5,4	34,9±5,8	↑ 55,8%	0,002
pNN50,%	10,7±1,9	21,2±3,2	↑ 98,1%	0,001
TP, мс ²	2979±557	3737±645	↑ 25,4%	0,03
HF, мс ²	162±56	287±45	↑ 77,2%	0,004
LF, мс ²	1845±423	2466±468	↑ 33,7%	0,05
VLF, мс ²	972±168	984±166	↑ 1,2%	0,382
LF/HF	11,33±5,21	8,68±4,76	↓ 23,3%	0,0086
HF (%)	5,4±1,4	7,7±1,6	↑ 42,6%	0,041
LF (%)	61,9±4,5	66,0±3,7	↑ 6,6%	0,039
VLF (%)	32,7±3,8	26,3±3,2	↓ 19,6%	0,044

Аналіз змін показників ВСР дозволяє зробити висновки щодо фізіологічних ефектів проведеної інтервенції. Зокрема, динаміка часових показників ВСР (Time-Domain Parameters) свідчить про зростання загальної ВСР та збільшення активності парасимпатичної ланки АНС. На це вказує статистично значуще зростання SDNN на 36,7% (з 43,6±7,1 мс до 59,6±6,5 мс, p=0,001), яке можна трактувати, як підвищення адаптаційних можливостей серцево-судинної системи. Про зростання активності парасимпатичної ланки АНС можна судити за динамікою RMSSD та pNN50. Так, RMSSD збільшився на 55,8% (з 22,4±5,4 мс до 34,9±5,8 мс, p=0,002, а pNN50 зріс на 98,1% (з 10,7±1,9 % до 21,2±3,2 %, p=0,001), вказує

на суттєве посилення вагусного тону після курсу дихальних вправ.

Аналіз частотних параметрів (Frequency-Domain Parameters) показав, що показник загальної потужності спектру серцевого ритму TP, який відображає загальну варіабельність серцевого ритму, статистично вірогідно зріс на 25,4% (з 2979±557 мс² до 3737±645 мс², p=0,01), що корелює зі зростанням SDNN і підтверджує збільшення загальної автономної активності. Потужність у високочастотному діапазоні спектру серцевого ритму HF, яка переважно відображає вагусну активність, пов'язану з дихальною синусовою аритмією (ДСА), продемонструвала значне та статистично значуще зростання на 77,2% (з



162±56 мс² до 287±45 мс², p=0,004). Це прямо вказує на те, що діафрагмальне дихання ефективно стимулює вагусні впливи на серце, посилюючи ДСА. Інтерпретація показника потужності хвиль у низькочастотному діапазоні LF є складнішою, оскільки цей діапазон відображає впливи як симпатичної, так і парасимпатичної систем, а також активність барорефлекторної дуги. Статистично значуще зростання цього показника на 33,7% (з 1845±423 мс² до 2466±468 мс², p=0,05) може свідчити про посилення барорефлекторної чутливості або загальне збільшення модуляційної активності АНС в цьому діапазоні, а не обов'язково про зростання чисто симпатичного тону. Потужність у наднизькочастотному діапазоні спектру серцевого ритму VLF є найменш вивченою і пов'язується з повільними регуляторними механізмами (терморегуляція, ренін-ангіотензинова система, можливо, повільні симпатичні впливи). У нашому дослідженні не виявлено статистично вірогідних змін цього параметру. Однак динаміка відносного значення цього показника у структурі загальної потужності спектру серцевого ритму у вигляді VLF (%) показала його статистично вірогідне зменшення після завершення курсу на 19,6 % (з 32,7±3,8 % до 26,3±3,2 %, p=0,01), що підтверджує зменшення відносного внеску повільних регуляторних механізмів в загальну картину ВСР.

Про баланс між симпатичною та парасимпатичною ланкою АНС судили за показником LF/HF, який зменшився на 23,3% (з 11,33±5,21 до 8,68±4,76; p=0,086). Однак ця зміна не є статистично вірогідною. Хоча тенденція до зниження присутня, відсутність статистичної значущості не дозволяє зробити впевнений висновок щодо зміни вегетативного лише на основі цього показника. Це може бути пов'язано зі значним зростанням абсолютних значень як LF, так і HF, або з високою індивідуальною варіабельністю цього показника. Варто зазначити, що вихідне значення LF/HF (11,33) є достатньо високим, що може свідчити про виражене домінування симпатичної ланки АНС у цій групі до втручання.

Динаміка відносних показників потужності хвиль різного діапазону в спектральній кривій серцевого ритму виявилася більш інформативною, ніж динаміка абсолютних значень цих показників. Відносна потужність високочастотного компонента HF% значу-

ще зросла на 42,6% (з 5,4±1,4% до 7,7±1,6%; p=0,041). Це підтверджує збільшення відносного внеску парасимпатичної активності в загальну ВСР. Відносна потужність низькочастотного компонента LF% також продемонструвала хоча і незначне, але статистично вірогідне збільшення на 6,6% (з 61,9±4,5% до 66,0±3,7%; p=0,039). Зростання як HF%, так і LF% на тлі статистично значущого зниження VLF% вказує на перерозподіл потужності спектру в сторону зменшення централізації рефлекторного контролю серцевого ритму і посилення участі в ньому периферичних ланок.

Обговорення. Аналіз отриманих нами даних показав, що курс з 10 сеансів діафрагмального дихання в режимі БЗЗ призвів до статистично значущого покращення низки показників автономної регуляції серцевого ритму у дітей з ознаками саркопенії. Ключовим результатом є виражене та статистично вірогідне посилення парасимпатичної активності, що підтверджується одночасним зростанням RMSSD, pNN50, абсолютної потужності HF та відносного показника HF%. Ці зміни вказують на те, що дана методика ефективно стимулювала вагусний контроль серця.

Збільшення загальної варіабельності (SDNN, TP) свідчить про посилення загальної здатності АНС до модуляції серцевого ритму, що є сприятливою ознакою, яка традиційно розцінюється як маркер підвищення адаптаційного резерву до дії стресових факторів. Інтерпретація змін у LF-діапазоні (зростання абсолютної потужності на межі значущості та значуще зростання відносної потужності) потребує обережності. Враховуючи значне посилення вагусної активності (HF) та специфіку методики (повільне контрольоване дихання з БЗЗ), зростання LF може відображати не стільки збільшення симпатичного тону, скільки посилення барорефлекторної активності та резонансні ефекти дихання на частотах LF-діапазону.

Хоча співвідношення LF/HF показало тенденцію до зниження, що можливо при більшій кількості спостережень свідчило б про зсув балансу в бік парасимпатичної ланки АНС, ця зміна не досягла статистичної значущості. Тому більш надійним висновком є констатація значного посилення парасимпатичної активності, а не доведена зміна симпто-вагусного балансу, вимірюного через LF/HF. Високий вихідний рівень LF/HF може вказувати на



початкове переважання симпатичних впливів або знижену вагусну активність у даної групи дітей, що робить виявлене посилення парасимпатичної ланки особливо важливим. Відсутність змін у VLF-діапазоні вказує на специфічний вплив методики переважно на швидкі механізми автономної регуляції.

Отримані нами результати повністю узгоджуються із дослідженнями інших авторів, які вивчали вплив діафрагмального дихання на функціональний стан АНС у різних популяціях здорових людей та пацієнтів з автономною дисфункцією [11,1,13]. Ціла низка досліджень дає чітке фізіологічне обґрунтування використанню повільного контрольованого діафрагмального дихання з метою покращення функціонального стану АНС [14,15,16]. Вплив діафрагмального дихання на нейровегетативну регуляцію реалізується через посилення барорефлексу та збільшення активності парасимпатичної ланки АНС, що відображається у збільшенні амплітуди ВСР [17]. Застосування методик діафрагмального дихання в режимі БЗЗ суттєво підвищує його позитивний ефект [9]. Мета-аналізи та огляди демонструють ефективність БЗЗ для покращення різних аспектів здоров'я та продуктивності у дорослих при широкому спектрі станів [18]. Систематичний огляд Thabrew et al. [19] вказує також на перспективність застосування діафрагмального дихання в режимі БЗЗ у дітей та підлітків, особливо для корекції три-можних станів.

Узагальнюючи дані літератури, які стосуються проблематики впливу дихальних технік та БЗЗ на автономну нервову систему, можна відмітити, що вони є багатообіцяючим нефармакологічним підходом для покращення автономної регуляції та потенційно пов'язаних з нею станів у дітей та підлітків. Необхідні подальші високоякісні дослідження для зміцнення доказової бази саме в цій віковій групі.

Висновки

1. Проведений курс з 10 сеансів діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку продемонстрував значний позитивний вплив на функціональний стан автономної нервової системи у досліджуваній групі дітей з ознаками саркопенії.

2. Найбільш вираженим та статистично доведеним ефектом є посилення парасимпатичної активності, що відображається у зростанні показників RMSSD, pNN50, HF та HF%. Також відзначено збільшення загальної варіабельності серцевого ритму за даними SDNN та TP. Ці фізіологічні зміни свідчать про потенційну користь даної методики для покращення автономної регуляції у цієї групи пацієнтів.

3. Для підтвердження клінічної значущості цих змін та виключення інших факторів необхідні подальші дослідження з використанням контрольних груп та оцінкою клінічних показників.

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Stewart JM. Autonomic nervous system dysfunction in adolescents. *Adolesc Med State Art Rev*. 2012;23(1):91–106, viii.
2. Boris JR. Postural Orthostatic Tachycardia Syndrome in Children and Adolescents. *Clin Pediatr (Phila)*. 2018;57(14):1625–33. doi:10.1177/0009922818798511
3. Thayer JF, Yamamoto SS, Brosschot JF. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *Int J Cardiol*. 2010;141(2):122–31. doi:10.1016/j.ijcard.2009.09.543
4. Palamarchuk OS, Shyp DY, Horlenko OM, Vadzyuk SN, Rishko OA, Kaliy VV. Peculiarities of neurovegetative regulation in children and adolescents with sarcopenia according to heart rate variability indicators. *Wiad Lek*. 2024;77(10):2008–14. doi:10.36740/WLek/195169. PMID:39661895
5. Smith JJ, et al. Sedentary behavior and cardiovascular health in children and adolescents: a systematic review. *Am J Prev Med*. 2014;46(3):313–21. doi:10.1016/j.amepre.2013.11.005
6. Lubans DR, et al. Physical activity for cognitive and mental health in youth: a systematic review of mechanisms. *Pediatrics*. 2016;138(3):e20161642. doi:10.1542/peds.2016-1642
7. Laveneziana P, et al. Respiratory muscle assessment in critically ill patients. *Ann Am Thorac Soc*. 2019;16(6):669–78. doi:10.1513/AnnalsATS.201808-542CME
8. Tsakona P, Kitsatis I, Apostolou T, Papadopoulou O, Hristara-Papadopoulou A. The Effect of Diaphragmatic Breathing as a Complementary Therapeutic Strategy in Stress of Children and



- Teenagers 6–18 Years Old. *Children (Basel)*. 2025;12(1):59. doi:10.3390/children12010059. PMID:39857890; PMCID:PMC11763547
9. Laborde S, Allen M, Borges U, Iskra M, Zammit N, You M, Hosang T, Mosley E, Dosseville F. Psychophysiological effects of slow-paced breathing at 6 cycles per minute with or without heart rate variability biofeedback. *Psychophysiology*. 2021;59:e13952. doi:10.1111/psyp.13952
 10. Biosign HRV Scanner. Available from: <https://site.biosign.de/en-gb/hrv-scanner>
 11. Evans S, Seidman L, Tsao J, Lung K, Zeltzer L, Naliboff B. Heart rate variability as a biomarker for autonomic nervous system response differences between children with chronic pain and healthy control children. *J Pain Res*. 2013;6:449–57. doi:10.2147/JPR.S43849
 12. Klimov D, Lysy C, Berteau S, Dutrançois J, Dereppe H, Brohet C, et al. Biofeedback on heart rate variability in cardiac rehabilitation: Practical feasibility and psycho-physiological effects. *Acta Cardiol*. 2014;69(3):299–307
 13. Lehrer PM. Biofeedback: An important but often-ignored ingredient in psychotherapy. *Policy Insights Behav Brain Sci*. 2016;4:57–63
 14. Gevirtz R. The Promise of Heart Rate Variability Biofeedback: Evidence-Based Applications. *Biofeedback*. 2013;41(3):110–20. doi:10.5298/1081-5937-41.3.01
 15. Lehrer PM, Gevirtz R. Heart rate variability biofeedback: how and why does it work?. *Front Psychol*. 2014;5:756. doi:10.3389/fpsyg.2014.00756
 16. Russo MA, Santarelli DM, O'Rourke D. The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe (Sheff)*. 2017;13(4):298–309. doi:10.1183/20734735.009817
 17. Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health*. 2017;5:258. doi:10.3389/fpubh.2017.00258
 18. Lehrer P, Kaur K, Sharma A, Shah K, Husebye R, Bhavsar J, Zhang Y. Heart Rate Variability Biofeedback Improves Emotional and Physical Health and Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2020;45(3):109–29. doi:10.1007/s10484-020-09466-z
 19. Thabrew H, Ruppeltdt P, Sollers JJ 3rd. Systematic review of HRV biofeedback interventions for addressing anxiety in children and adolescents. *J Child Adolesc Psychopharmacol*. 2018;28(8):508–23. doi:10.1089/cap.2018.0021

Отримано 08.07.2025 р.