
НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

УДК 612.8+159.9.072+612.017
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-58-70

Вовканич Л. С.

кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри анатомії та фізіології
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського
lsvovkanych@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6642-6368

Федьків М. Р.

аспірантка кафедри фізіології людини і тварин
Львівський національний університет імені Івана Франка
викладачка кафедри анатомії та фізіології
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського
mariyaf98@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9180-3164

ВПЛИВ КОГНІТИВНОГО ТА ЕМОЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ: НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ

У статті здійснено огляд сучасних досліджень змін варіабельності серцевого ритму (BCP) під впливом когнітивного та емоційного навантаження. Актуальність дослідження зумовлена перспективністю використання неінвазивного методу аналізу BCP для оцінювання реакції організму на вплив психоемоційних чинників. Метою огляду є аналіз нейрофізіологічних механізмів впливу когнітивних та емоційних навантажень на BCP, особливостей змін основних показників BCP при когнітивному та емоційному навантаженні, а також особливостей реєстрації та аналізу BCP в умовах впливу навантажень на організм. На основі сучасних джерел обґрунтовано нейрофізіологічні механізми взаємозв'язку показників BCP і активності вищих структур центральної нервової системи. Проаналізовано активність центральної автономної мережі (CAN), яка об'єднує ключові регуляторні структури головного мозку (префронтальну кору, гіпокамп, мигдалеподібне тіло тощо). Висвітлено характер змін серцевого ритму при виконанні когнітивних завдань: зазвичай спостерігається активація симпатичної ланки АНС, підвищення ЧСС і зміни низки показників BCP, зокрема зменшення потужності HF хвиль та RMSSD й SDNN, а також підвищення потужності LF коливань. Зміни залежать від складності завдань, індивідуальних характеристик й рівня фізичної підготовленості. Показано, що емоційні подразники, зокрема ті, що викликають страх чи тривогу, призводять до більш виражених і швидких змін BCP – зростає симпатичний вплив, зменшується вагусна активність. Обговорено особливості змін показників BCP у спортсменів та фахівців професій, пов'язаних з когнітивними чи емоційними навантаженнями (медичні працівники, пілоти, рятувальники тощо). Проаналізовано основні обмеження та можливі джерела похибок при використанні аналізу BCP для оцінювання впливу на організм

емоційних чи когнітивних навантажень. Зокрема, підкреслені особливості аналізу ультракоротких записів та необхідність враховувати індивідуальні особливості варіабельності. Окреслено перспективи подальших досліджень щодо використання мобільних технологій для моніторингу ВСР у реальному часі в професійній діяльності та спорті.

Ключові слова: автономна нервова система, центральна автономна мережа, ультракороткі записи, спорт.

Вступ. Аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР) широко використовується у фізіологічних дослідженнях. Це метод неінвазивної оцінки функціонального стану організму, що базується на реєстрації та аналізі послідовного ряду кардіоінтервалів (RR інтервалів). Тривалість RR інтервалів найчастіше визначають з використанням електрокардіографічних чи фотоплетизмографічних методик [1-3]. Для аналізу ВСР застосовують різні групи методів, зокрема методи статистичного аналізу (time domain methods, методи часового аналізу), геометричні методи аналізу (geometrical measures, варіаційна пульсометрія), спектральні методи аналізу (frequency domain methods) та методи нелінійного аналізу [1-6]. Метод часового аналізу полягає у визначенні міри коливань RR інтервалів на основі таких показників, як RMSSD (квадратний корінь суми різниць послідовного ряду RR інтервалів), SDRR (стандартне відхилення RR інтервалів), SDNN (стандартне відхилення нормальних RR-інтервалів), pNN50 (відсоток послідовних RR-інтервалів, різниця між якими перевищує 50 мс.) тощо. Геометричні методи аналізу ВСР ґрунтуються на побудові гістограм або інших геометричних моделей, які дозволяють візуалізувати розподіл RR-інтервалів та визначати його ключові параметри. Спектральний аналіз дозволяє кількісно оцінити різні частотні складові коливань ВСР [1-6]. При коротких записах (5 хв.) виділяють три головні спектральні компоненти: високочастотні (High Frequency – HF), низькочастотні (Low Frequency – LF) та дуже низькочастотні (Very Low Frequency – VLF) коливання. Зміни HF коливань пов'язують з вагусною активністю. Вірогідно, що показник LF характеризує переважно стан впливу симпатичного відділу автономної нервової системи. До методів нелінійного аналізу ВСР належать графік Пуанкаре, детрендований аналіз флуктуацій, ентропійний аналіз та рекурентні діаграми [3].

Сучасний розвиток методів реєстрації ВСР та аналізу його показників з використанням портативних засобів зумовили підвищену увагу дослідників до перспективності використання таких показників для оцінювання впливу когнітивних та емоційних навантажень на організм людини, зокрема в умовах професійної або змагальної діяльності, тренувального процесу, а також за розвитку окремих патологічних станів. Більшість авторів зазначають, що низький рівень варіабельності ритму вказує на порушення автономної регуляції функцій та на вищий ризик розвитку несприятливих стресових реакцій [7-11]. Однак інтерпретація змін показників ВСР у відповідь на дію психоемоційних стимулів залишається складною у зв'язку з кількома чинниками. Зокрема, зниження рівня варіабельності може асоціюватись також з неврологічними чи психіатричними захворюваннями [12-15]. Існує також низка питань, пов'язаних з точністю оцінювання показників ВСР на основі ультракоротких записів, які доцільно використовувати для оцінювання часової динаміки впливу навантажень на організм. Окрім того, для коректного визначення показників ВСР необхідно враховувати артефакти, які можуть виникати у процесі виконання тестів, а їх оцінювання повинно враховувати наявність індивідуальних рис варіабельності. Тому, метою цього огляду є аналіз нейрофізіологічних механізмів впливу когнітивних та емоційних навантажень на ВСР, особливостей змін основних показників ВСР при когнітивному та емоційному навантаженні, а також особливостей реєстрації та аналізу ВСР в умовах впливу навантажень на організм.

Методика. Огляд літератури здійснено із застосуванням системного підходу з метою ідентифікації найбільш релевантних досліджень щодо впливу когнітивного та емоційного навантаження на показники ВСР. Пошук виконували за ключовими словами у провідних наукових базах даних, зокрема PubMed, Scopus та Web of Science. Розглядали джерела, оприлюднені упродовж останніх десяти років, а також аналізували бібліографічні списки наукових публікацій для виявлення додаткових релевантних джерел.

Аналізували переважно англomовні оглядові та експериментальні статті за тематикою огляду, які пройшли процедуру рецензування та були присвячені вивченню показників осіб зрілого віку незалежно від статі, професійної підготовки чи рівня рухової активності. Під час підготовки огляду не аналізували монографії, тези конференцій, а також дослідження з недостатньо деталізованими описом досліджуваного контингенту, методик досліджень та отриманих результатів.

Результати та їх обговорення. Нейрофізіологічне підґрунтя взаємозв'язку когнітивних функцій та варіабельність серцевого ритму. ВСР формується внаслідок складної взаємодії багатьох структур центральної нервової системи (ЦНС) за участю центральних і периферичних компонентів автономної нервової системи (АНС). Згідно із сучасними уявленнями, ключову роль у змінах ВСР під час активної розумової діяльності відіграє «центральна автономна мережа» (Central Autonomic Network, CAN). CAN є ключовим компонентом регуляторної системи організму, через яку ЦНС контролює вегетативні (автономні), нейроендокринні та поведінкові реакції, необхідні для виживання. Згідно з уявленнями Бенаррох Е. [16] до складу CAN належить острівцева частка кори головного мозку, мигдалеподібне тіло, гіпоталамус, центральна сіра речовина середнього мозку, приручкові ядра, ядро одинокого шляху та вентролатеральна частина довгастого мозку. Інші автори включають до складу CAN також ядра блукаючого нерва, вентромедіальні ділянки префронтальної кори, гіпокамп, таламус та інші структури [17-20]. Основні висхідні впливи до структур CAN надходять через блукаючий нерв та ядро одинокого шляху. Гуморальні впливи на CAN здійснюються за участю структур серединного підвищення та прилеглого нейрогіпофіза, судинного органу кінцевої пластинки, підсклепінного органу, заднього поля (так звані Circumventricular Organs) [19]. Низхідні впливи, які проявляються у змінах ВСР, здійснюються за участю центральних відділів CAN, які модулюють активності ядер АНС. Існують дослідження, що вказують на зв'язок показників ВСР з активністю фронтальних ділянок мозку, гіпокампу та інших структур кінцевого мозку. Зокрема, вища варіабельність ритму корелює з підвищеною активністю вентромедіальної префронтальної кори та пригніченням активності мигдалеподібних ядер [21]. Існують припущення, що підвищення амплітуди коливань серцевого ритму за механізмом зворотного зв'язку може впливати на функціонування нейронних мереж, повільні коливання серцевого ритму можуть посилювати активність у медіальній префронтальній корі, що покращує регулювання емоцій та соціальну поведінку [22]. Таким чином, до нейрофізіологічного підґрунтя зв'язку ЦНС та ВСР залучені різні структури CAN (особливо префронтальна кора, гіпокамп, мигдалеподібні ядра) і їх вплив на тонус симпатичного та парасимпатичного відділів АНС [19, 21]. Вірогідно, що у цій системі наявні як низхідні, так і висхідні впливи.

Зміни ВСР у відповідь на когнітивне та емоційне навантаження. Результати досліджень демонструють, що складні когнітивні завдання (тестування уваги, пам'яті або здатності до швидкого прийняття рішень) зазвичай викликають активацію симпатичної ланки АНС та зниження парасимпатичної активності [23]. Аналогічно впливає на показники ВСР диференціювання зорових [24, 25] та слухових подразників [26, 27]. У цих умовах часто спостерігають підвищення ЧСС і зміни низки показників ВСР, зокрема зменшення потужності HF хвиль, RMSSD й SDNN, SD1 та SD2 а також підвищення потужності LF коливань, [7, 10, 25, 28, 29], індексу напруження й амплітуди моди [24]. Водночас використання різних тестів для моделювання

когнітивного навантаження (mental arithmetic, Stroop Color-Word Test, Go/No-Go Reaction Task, n-back тощо) може по-різному впливати на окремі показники ВСР. За результатами аналізу літератури [31], виявлено, що 7 з 9 проаналізованих показників ВСР змінювались під час когнітивного навантаження. До них належали RR, SDRR, RMSSD, pNN50, D2, HF і LF/HF. Виявлене зменшення RR, RMSSD, pNN50, SDRR та HF, що вказувало на зменшену варіабельність серцевого ритму. На зміни показників ВСР під час виконання когнітивних навантажень можуть впливати додаткові чинники. Зокрема, Луке-Касадо та співавт. (2013) показали, що в групі з низьким рівнем фізичної підготовленості варіабельність ритму знижувалась у процесі виконання тривалих когнітивних завдань, тоді як у фізично підготовлених учасників цього зниження не спостерігалось [28]. Також, Макаренком та Лизогубом із співавторами [24, 26, 27, 29, 30] виявлений зв'язок між функціональною рухливістю нервових процесів (ФРНП) та змінами показників ВСР під впливом когнітивних та емоційних навантажень. Особи з високим рівнем ФРНП показали менший рівень активації симпатичної ланки АНС.

Стимули, що викликають емоційні реакції (страх, тривога, гнів тощо) також впливають на ВСР. При цьому виявлено, що комфортніший емоційний стан, пов'язаний з ефективнішою взаємодією між мигдалеподібним ядром та лобовою корою, супроводжується значною варіабельністю ритму, яка вказує на переважання тону парасимпатичної ланки АНС [12, 22]. Якщо емоційні стимули розцінюються як загрозові для організму, то відбуваються зміни ВСР, що вказують на посилення симпатичного тону, якщо ж середовище безпечне – підтримується висока варіабельність ритму (ваготонія) [12]. Короточасні емоційні реакції (наприклад, внаслідок впливу неочікуваного подразника) ведуть до швидкого зменшення потужності HF коливань та підвищення співвідношення LF/HF [7], тобто різко зменшують тону парасимпатичного відділу. У психологічних експериментах зазвичай реєструють типову зміну ВСР при відчутті страху чи тривоги: зниження SDNN і HF, збільшення ЧСС. Крім того, дослідження показують, що низька варіабельність ритму асоціюється з порушеннями регулювання емоцій та психічними патологіями, у той час як висока варіабельність є маркером адаптивних емоційних стратегій [12, 22].

Існують певні відмінності впливу емоційних та когнітивних подразників на ВСР. У якості стимулів, що викликають емоційні реакції, переважно використовують перегляд емоційно забарвлених зображень (IAPS) чи відео, симуляцію екстремальних ситуацій, соціальні стрес-тести (TSST), ігрові навантаження (кіберспорт). Також вивчають зміни ВСР, що виникають при зміні емоційного стану в умовах передекзаменаційного чи передзмагального стресу та (у поєднанні з анкетними методиками) у повсякденному житті. Емоційні подразники зазвичай викликають більші зміни ВСР за короткий час, тоді як когнітивні – більш поступове накопичення змін у параметрах ВСР [28]. Необхідно зазначити, що для моделювання емоційного навантаження використовують обмежену кількість експериментальних протоколів. Таким чином, у літературі переважно проаналізовані зміни ВСР, пов'язані з впливом саме таких різновидів подразників.

Показники ВСР як індикатор стресу й адаптації у спортсменів та фахівців окремих професій. У тренуваних спортсменів і фахівців професій, пов'язаних з когнітивними чи емоційними навантаженнями (медичні працівники, пілоти, оператори, рятувальники тощо), зазвичай спостерігаються вищі показники варіабельності ритму у спокої та формування оптимізованої відповіді на вплив навантаження. При гострому фізичному стресі (наприклад, під час виконання фізичних вправ) здебільшого спостерігається зниження варіабельності ритму внаслідок підвищення активності симпатичної ланки регуляції та зниження парасимпатичної тону [32, 33]. Водночас тривала адаптація до фізичних навантажень супроводжується наростанням загальної варіабельності ритму та збільшенням парасимпатичних впливів на ритмічні процеси. Ці зміни проявляються збільшенням тривалості кардіоінтервалів, підвищенням SDNN, RMSSD (а також Ln RMSSD) та pNN50 [32-35] у спортсменів у стані спокою. Адаптація

до регулярних навантажень у спортсменів також супроводжується пришвидшенням відновлення показників ВСР після навантажень та зменшенням змін варіабельності ритму у процесі їхнього виконання. За даними окремих досліджень представники окремих ігрових та циклічних видів спорту продемонстрували кращі результати в когнітивних тестах та вищі показники ВСР порівняно з особами з низькою руховою активністю [36, 37]. Це узгоджується з дослідженнями Луке-Касадо із співавт. (2013), де група людей з високим рівнем фізичної підготовленості показала менше зниження варіабельності ритму під час виконання когнітивного завдання порівняно з групою нетренованих осіб [28]. Параметри ВСР також можна використовувати для контролю стану спортсмена у видах спорту із значним психофізіологічним навантаженням, наприклад у кіберспорті [38]. Показники ВСР можуть слугувати також індикаторами когнітивного та емоційного навантаження, що виникає внаслідок професійної діяльності. Зокрема, дослідження ВСР лікарів невідкладної допомоги, анестезіологів, хірургів, персоналу швидкої медичної допомоги сконцентровані на аналізі SDNN, RMSSD, PNN50, LF % та LF/HF [9]. Наявні також роботи, у яких вивчається вплив когнітивного навантаження, пов'язаного з аналізом слухових подразників, на показники ВСР (LF/HF, SDNN, HF, LF, VLF) операторів мобільного зв'язку [27]. Показники ВСР розглядають як індикатори професійного навантаження рятувальників та пожежників [39], пілотів [40], зокрема військових пілотів [41].

Перспективи та обмеження аналізу ВСР під час когнітивних та емоційних навантажень. Для вимірювання ВСР зазвичай рекомендується використовувати записи ЕКГ тривалістю 5 хв і більше [1-6]. Однак в експериментальній практиці, зокрема під час виконання фізичних, когнітивних чи емоційних навантажень, часто виникає потреба значно скоротити інтервал реєстрації ВСР (до 10–60 с) для швидкого оцінювання змін. На сьогодні існують дані, що підтверджують можливість отримання прийнятної точності для окремих показників ВСР навіть за умови 10–30-секундних інтервалів реєстрації. Наприклад, Муньос із співавт. (2015) показали, що одного 10-секундного фрагмента достатньо для отримання близької до коректної оцінки RMSSD, а для SDNN рекомендують збільшити тривалість реєстрації до 30 с або виконати усереднення декількох 10-секундних серій [42]. У дослідженні Бернардес із співавт. (2022) показано, що основні показники ВСР (HR, SDNN, RMSSD, HF, LF/HF та окремі показники спектрального аналізу) можна з достатньою точністю визначити навіть за 60-секундних інтервалів реєстрації [43]. Водночас Шаффер Ф. та співавт. (2020) підкреслюють, що більшість робіт з ультракороткими записами використовували для оцінювання точності кореляційний аналіз замість статистики Блант-Альтмана, та не враховували можливий вплив артефактів, які можуть суттєво спотворити результати [44]. Тому, вони наполягають на необхідності дотримання шести рекомендацій для підвищення точності оцінювання показників ВСР на основі ультракоротких записів. До них належить, зокрема, автоматична корекція артефактів, визначення мінімальних періодів реєстрації, встановлення норм для оцінювання показників за умови ультракороткої реєстрації тощо. Таким чином, ультракороткі записи можуть дати практичну інформацію у реальному часі, але слід ретельно оцінювати їх обмеження і враховувати можливі помилки інтерпретації [42, 44]. Водночас параметри спектрального аналізу ВСР вимагають триваліших термінів реєстрації, оскільки період окремих коливань (LF, HF) наближається чи перевищує тривалість ультракоротких записів.

У науковій літературі [45, 46] вказані також основні обмеження та можливі джерела похибок використання аналізу ВСР під час емоційних чи когнітивних навантажень. До них, зокрема, належать: вплив рухів голови чи рук під час виконання завдань (можуть сприяти появі артефактів), зміни частоти та глибини дихання (впливають, зокрема, на RSA та HF хвилі), а також психологічні особливості досліджуваних, зокрема наявність попереднього досвіду та рівень їхньої мотивації. Під час аналізу необхідно враховувати значну індивідуальну варіабельність показників ВСР,

тому зазвичай рекомендовано порівнювати індивідуальні зміни показників, а не абсолютні відмінності середніх значень. Застосування ультракоротких записів вимагає корекції артефактів та добору тих параметрів ВСР, які можуть бути коректно визначені упродовж певних інтервалів часу. Вочевидь, для отримання відтворюваних результатів необхідно дотримуватись стандартних вимог до організації досліджень ВСР, зокрема часу реєстрації, положення тіла досліджуваного, його активності перед початком реєстрації тощо [1-6].

Практичне застосування ВСР як інструменту моніторингу психоемоційного стану. Аналіз літературних джерел свідчить про наявність широкого спектру портативних пристроїв (смарт-годинники, фітнес-трекери), які забезпечують безперервний моніторинг ЧСС і ВСР у повсякденному житті [47]. Це створює можливості для використання методик ВСР для аналізу психоемоційного стану та вивчення його змін під впливом когнітивних та емоційних навантажень. У спорті показники ВСР широко застосовуються для контролю втоми та готовності до навантажень. Зокрема, високі значення RMSSD та SDNN вказують на високий рівень підготовленості, а стійке зниження цих показників може слугувати індикатором погіршення функціонального стану (перенапруження, перетренованість) [35]. В галузі професійної діяльності (пілоти, лікарі, військові, рятувальники, оператори) ВСР може слугувати маркером змін, викликані когнітивним чи емоційним навантаженнями [9, 27, 39-41]. На сьогодні розроблені програмні засоби, що попереджають про високі навантаження в режимі реального часу [48]. У нейропсихологічних дослідженнях та у напрямку психології та психотерапії показники ВСР застосовують для оцінки рівня тривоги, депресії та постстресового стану [12]. Все ширше впроваджують ВСР (HRV biofeedback) також у методики лікуванні тривоги, депресії та стресових розладів, що дозволяє пацієнту здійснювати довільне посилення тону парасимпатичного відділу АНС для поліпшення емоційного стану [49, 50]. З метою покращення аналізу даних сьогодні активно використовують алгоритми машинного навчання, які базуються на поєднаному аналізі ВСР та інших даних (наприклад змін електричного опору шкіри, температури тіла, показників дихання) для виявлення стресу в режимі реального часу [47]. Завдяки цьому формується індивідуальний підхід та персоналізовані програми покращення психоемоційного стану.

Висновки. Аналіз показників ВСР є перспективним засобом дослідження когнітивного та емоційного навантаження, що широко обговорюється у сучасній науковій літературі. Хоча загальні тенденції зміни показників ВСР під час виконання когнітивних завдань чи дії емоційних стресових чинників добре описані, проте існує необхідність удосконалення підходів до їхньої інтерпретації. Основними напрямками удосконалення є покращення методик реєстрації та підходів до аналізу ультракоротких записів, поєднання реєстрації ВСР та інших фізіологічних показників організму (зовнішнього дихання, гальванічного опору шкіри, температури тіла тощо), урахування індивідуальних особливостей (типу ВНД, лабільності, сили, гальмування нервових процесів тощо) нервової системи та розвиток машинного навчання для підвищення точності й індивідуалізації оцінювання показників. За дотримання належних вимог до реєстрації та аналізу показники ВСР можуть бути одним із індикаторів як когнітивного, так і емоційного навантаження, що відкриває нові можливості для інтегративного моніторингу психоемоційного стану людини в режимі реального часу.

Література

1. Heart rate variability measurement and influencing factors: towards the standardization of methodology / N. Damoun et al. *Global cardiology science and practice*. 2024. Vol. 2024, no. 4. URL: <https://doi.org/10.21542/gcsp.2024.35>
2. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science / S. Sammito et al. *Journal of occupational medicine and toxicology*. 2024. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00414-9>

3. Heart rate variability over the decades: a scoping review / A. Sundas et al. *PeerJ*. 2025. Vol. 13. P. e19347. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.19347>
4. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*. 1996. Vol. 93, no. 5. P. 1043–1065. URL: <https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043>
5. Advances in heart rate variability signal analysis: Joint position statement by the e-cardiology ESC working group and the european heart rhythm association co-endorsed by the asia pacific heart rhythm society / R. Sassi et al. *Europace*. 2015. Vol. 17, no. 9. P. 1341–1353. URL: <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>
6. Shaffer F., Ginsberg J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*. 2017. Vol. 5. URL: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
7. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature / H.-G. Kim et al. *Psychiatry investigation*. 2018. Vol. 15, no. 3. P. 235–245. URL: <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
8. Measuring psychosocial stress with heart rate variability-based methods in different health and age groups / S. M. Seipäjäarvi et al. *Physiological measurement*. 2022. Vol. 43, no. 5. P. 235–245. URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac6b7c>
9. A systematic review of heart rate variability as a measure of stress in medical professionals / J. E. Peabody et al. *Cureus*. 2023. URL: <https://doi.org/10.7759/cureus.34345>
10. Heart rate variability for evaluating psychological stress changes in healthy adults: a scoping review / S. Immanuel et al. *Neuropsychobiology*. 2023. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.1159/000530376>
11. Heart rate variability as a measure of mental stress in surgery: a systematic review / A.-F. The et al. *International archives of occupational and environmental health*. 2020. Vol. 93, no. 7. P. 805–821. URL: <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01525-6>
12. Is low heart rate variability associated with emotional dysregulation, psychopathological dimensions, and prefrontal dysfunctions? An integrative view / L. A. Cattaneo et al. *Journal of personalized medicine*. 2021. Vol. 11, no. 9. P. 872. URL: <https://doi.org/10.3390/jpm11090872>
13. Nicolini P., Malfatto G., Lucchi T. Heart rate variability and cognition: a narrative systematic review of longitudinal studies. *Journal of clinical medicine*. 2024. Vol. 13, no. 1. P. 280. URL: <https://doi.org/10.3390/jcm13010280>
14. Heart rate variability in mental disorders: an umbrella review of meta-analyses / Z. Wang et al. *Translational psychiatry*. 2025. Vol. 15, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03339-x>
15. Forte G., Favieri F., Casagrande M. Heart rate variability and cognitive function: a systematic review. *Frontiers in neuroscience*. 2019. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00710>
16. Benarroch E. E. The central autonomic network: functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo clinic proceedings*. 1993. Vol. 68, no. 10. P. 988–1001. URL: [https://doi.org/10.1016/s0025-6196\(12\)62272-1](https://doi.org/10.1016/s0025-6196(12)62272-1)
17. Sklerov M., Dayan E., Browner N. Functional neuroimaging of the central autonomic network: recent developments and clinical implications. *Clinical autonomic research*. 2018. Vol. 29, no. 6. P. 555–566. URL: <https://doi.org/10.1007/s10286-018-0577-0>
18. Lamotte G., Shouman K., Benarroch E. E. Stress and central autonomic network. *Autonomic neuroscience*. 2021. Vol. 235. P. 102870. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102870>
19. Understanding the roles of central and autonomic activity during sleep in the improvement of working memory and episodic memory / P.-C. Chen et al. *Proceedings of the national academy of sciences*. 2022. Vol. 119, no. 44. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2123417119>
20. Quadt L., Critchley H., Nagai Y. Cognition, emotion, and the central autonomic network. *Autonomic neuroscience*. 2022. Vol. 238. P. 102948. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.102948>

21. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health / J. F. Thayer et al. *Neuroscience & biobehavioral reviews*. 2012. Vol. 36, no. 2. P. 747–756. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
22. Mather M., Thayer J. F. How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current opinion in behavioral sciences*. 2018. Vol. 19. P. 98–104. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.12.017>
23. Endukuru C., Tripathi S. Evaluation of cardiac responses to stress in healthy individuals-a non invasive evaluation by heart rate variability and Stroop test. *International Journal of Science and Research*. 2012. Vol. 5. P. 286–289.
24. Гемодинаміка головного мозку та серцевий ритм при розумовій діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищих відділів центральної нервової системи / М. В. Макаренко та ін. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Біологія, хімія*. 2012. Том 25(64), № 4. С. 136–143.
25. Processing information in the go/nogo/go paradigm: Interactions between cognitive function and the autonomic nervous system / V. Lyzohub et al. *Health Problems of Civilization*. 2020. Vol. 14, no. 1. P. 53–62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294>
26. Серцевий ритм у осіб з різною функціональною рухливістю нервових процесів при переробці слухової інформації / В. С. Лизогуб та ін. *Учені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Біологія, хімія*. 2010. Том 23(62), № 4. С. 131–136.
27. Індивідуальні нейродинамічні та нейровегетативні властивості операторів мобільного зв'язку / М. В. Макаренко та ін. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2018. Vol. 3, № 53. С. 76–84. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1434367>
28. Cognitive performance and heart rate variability: the influence of fitness level / A. Luque-Casado et al. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, no. 2. P. e56935. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056935>
29. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Юхименко Л. І. Серцевий ритм у студентів з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності за умов емоційного стресу. *Фізіологічний журнал*. 2003. Том 49, № 1. С. 28–33.
30. Makarenko N. V., Lizogub V. S., Yukhimenko L. I. Reactions of the autonomic nervous system of students with different characteristics of higher nervous activity in the situation of examination stress. *Human Physiology*. 2006. Vol. 32, no. 3. P. 368–370. <https://doi.org/10.1134/S0362119706030182>
31. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: a systematic review with meta-analysis / R. Castaldo et al. *Biomedical signal processing and control*. 2015. Vol. 18. P. 370–377. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
32. Editorial: new perspectives and insights on heart rate variability in exercise and sports / J. L. Stomiolo et al. *Frontiers in sports and active living*. 2025. Vol. 7. URL: <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1574087>
33. Effect of exercise modality on heart rate variability in adults: a systematic review and network meta-analysis / F. Yang et al. *Reviews in cardiovascular medicine*. 2024. Vol. 25, no. 1. P. 9. URL: <https://doi.org/10.31083/j.rcm2501009>
34. Dong J.-G. The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and therapeutic medicine*. 2016. Vol. 11, no. 5. P. 1531–1536. URL: <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>
35. Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review / V. P. da Silva et al. *Annals of noninvasive electrocardiology*. 2014. Vol. 20, no. 2. P. 108–118. URL: <https://doi.org/10.1111/anec.12237>
36. Chakraborty S., Suryavanshi C. A., Nayak K. R. Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Annals of medicine*. 2023. Vol. 55, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2267588>
37. Suryavanshi C. A., Nayak K. R. Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 2023. Vol. 33, no. 6. P. 647–654.

38. The use of heart rate variability in esports: a systematic review / M. R. Welsh et al. *Psychology of sport and exercise*. 2023. P. 102495. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102495>
39. Monitoring stress and allostatic load in first responders and tactical operators using heart rate variability: a systematic review / S. L. Corrigan et al. *BMC public health*. 2021. Vol. 21, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11595-x>
40. Wang P., Houghton R., Majumdar A. Detecting and predicting pilot mental workload using heart rate variability: a systematic review. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 12. P. 3723. URL: <https://doi.org/10.3390/s24123723> [in English].
41. Heart rate variability in military pilots during flight: a scoping review / A. B. F. Soares et al. *Military medicine*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1093/milmed/usae390>
42. Validity of (ultra-)short recordings for heart rate variability measurements / M. L. Munoz et al. *Plos one*. 2015. Vol. 10, no. 9. P. e0138921. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138921>
43. How reliable are ultra-short-term HRV measurements during cognitively demanding tasks? / A. Bernardes et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 17. P. 6528. URL: <https://doi.org/10.3390/s22176528>
44. Shaffer F., Meehan Z. M., Zerr C. L. A critical review of ultra-short-term heart rate variability norms research. *Frontiers in neuroscience*. 2020. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.594880>
45. Laborde S., Mosley E., Thayer J. F. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology*. 2017. Vol. 08. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
46. Quintana D. S., Alvares G. A., Heathers J. A. J. Guidelines for Reporting Articles on Psychiatry and Heart rate variability (GRAPH): recommendations to advance research communication. *Translational psychiatry*. 2016. Vol. 6, no. 5. P. e803-e803. URL: <https://doi.org/10.1038/tp.2016.73>
47. Detection and monitoring of stress using wearables: a systematic review / A. Pinget et al. *Frontiers in computer science*. 2024. Vol. 6. URL: <https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1478851>
48. Heart rate variability as a measure of mental fatigue in aviation and space operations / Wang Y et al. *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13, 831266
49. Correction to: heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: a systematic review and meta-analysis / P. Lehrer et al. *Applied psychophysiology and biofeedback*. 2021. Vol. 46, no. 4. P. 389. URL: <https://doi.org/10.1007/s10484-021-09526-y>
50. Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients / K. Blasé et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18, No 7. P. 3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>

References

1. Damoun, N., Amekran, Y., Taiek, N., & El Hangouche, A. J. (2024). Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Global Cardiology Science and Practice*, 2024(4). doi:10.21542/gcsp.2024.35 [in English].
2. Sammito, S., Thielmann, B., Klussmann, A., Deußen, A., Braumann, K.-M., & Böckelmann, I. (2024). Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 19(1). doi:10.1186/s12995-024-00414-9 [in English].
3. Sundas, A., Contreras, I., Navarro-Otano, J., Soler, J., Beneyto, A., & Vehi, J. (2025). Heart rate variability over the decades: A scoping review. *PeerJ*, 13, e19347. doi:10.7717/peerj.19347. [in English].
4. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement,

physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. doi:10.1161/01.cir.93.5.1043 [in English].

5. Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C.-K., ... Macfadyen, R. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace*, 17(9), 1341–1353. doi:10.1093/europace/euv015 [in English].

6. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5. doi:10.3389/fpubh.2017.00258 [in English].

7. Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245. doi:10.30773/pi.2017.08.17 [in English].

8. Seipäjärvä, S. M., Tuomola, A., Juurakko, J., Rottensteiner, M., Rissanen, A. E., Kurkela, J. L. O., Kujala, U. M., Laukkanen, J. A., & Wikgren, J. (2022). Measuring psychosocial stress with heart rate variability-based methods in different health and age groups. *Physiological measurement*, 43(5), 10.1088/1361-6579/ac6b7c. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac6b7c> [in English].

9. Peabody, J. E., Ryznar, R., Ziesmann, M. T., & Gillman, L. (2023). A systematic review of heart rate variability as a measure of stress in medical professionals. *Cureus*. doi:10.7759/cureus.34345 [in English].

10. Immanuel, S., Teferra, M. N., Baumert, M., & Bidargaddi, N. (2023). Heart rate variability for evaluating psychological stress changes in healthy adults: A scoping review. *Neuropsychobiology*, 1–16. doi:10.1159/000530376 [in English].

11. The, A.-F., Reijmerink, I., van der Laan, M., & Cnossen, F. (2020). Heart rate variability as a measure of mental stress in surgery: A systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 93(7), 805–821. doi:10.1007/s00420-020-01525-6 [in English].

12. Cattaneo, L. A., Franquillo, A. C., Grecucci, A., Beccia, L., Caretti, V., & Dadomo, H. (2021). Is low heart rate variability associated with emotional dysregulation, psychopathological dimensions, and prefrontal dysfunctions? An integrative view. *Journal of Personalized Medicine*, 11(9), 872. doi:10.3390/jpm11090872 [in English].

13. Nicolini, P., Malfatto, G., & Lucchi, T. (2024). Heart rate variability and cognition: A narrative systematic review of longitudinal studies. *Journal of Clinical Medicine*, 13(1), 280. doi:10.3390/jcm13010280 [in English].

14. Wang, Z., Zou, Y., Liu, J., Peng, W., Li, M., & Zou, Z. (2025). Heart rate variability in mental disorders: An umbrella review of meta-analyses. *Translational Psychiatry*, 15(1). doi:10.1038/s41398-025-03339-x [in English].

15. Forte, G., Favieri, F., & Casagrande, M. (2019). Heart rate variability and cognitive function: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 13. doi:10.3389/fnins.2019.00710 [in English].

16. Benarroch, E. E. (1993). The central autonomic network: Functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo Clinic Proceedings*, 68(10), 988–1001. doi:10.1016/s0025-6196(12)62272-1 [in English].

17. Sklerov, M., Dayan, E., & Browner, N. (2018). Functional neuroimaging of the central autonomic network: Recent developments and clinical implications. *Clinical Autonomic Research*, 29(6), 555–566. doi:10.1007/s10286-018-0577-0 [in English].

18. Lamotte, G., Shouman, K., & Benarroch, E. E. (2021). Stress and central autonomic network. *Autonomic Neuroscience*, 235, 102870. doi:10.1016/j.autneu.2021.102870 [in English].

19. Chen, P.-C., Zhang, J., Thayer, J. F., & Mednick, S. C. (2022). Understanding the roles of central and autonomic activity during sleep in the improvement of working memory and episodic memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(44). doi:10.1073/pnas.2123417119 [in English].

20. Quadt, L., Critchley, H., & Nagai, Y. (2022). Cognition, emotion, and the central autonomic network. *Autonomic Neuroscience*, 238, 102948. doi:10.1016/j.autneu.2022.102948 [in English].

21. Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.11.009 [in English].
22. Mather, M., & Thayer, J. F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 19, 98–104. doi:10.1016/j.cobeha.2017.12.017 [in English].
23. Endukuru C, & Tripathi S. (2016). Evaluation of cardiac responses to stress in healthy individuals-a non invasive evaluation by heart rate variability and Stroop test. *International Journal of Science and Research*, 5, 286–289 [in English].
24. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., Yukhymenko, L. I., & Chernenko, N. P. (2012). Hemodynamika holovnoho mozku ta sertsevyi rytm pry rozumovii diialnosti liudei z riznymi indyvidualno-typolohichnymi vlastyviostamy vyshchych viddiliv tsentralnoi nervovoi systemy [Cerebral hemodynamics and heart rate during mental activity of people with different individual typological properties of the higher parts of the central nervous system]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Biolohiia, khimiia*, 25(64)(4), 136–143 [in Ukrainian].
25. Lyzohub, V., Kozhemiako, T., Palabiyik, A. A., Khomenko, S., & Bezcopylna, S. (2020). Processing information in the go/nogo/go paradigm: Interactions between cognitive function and the autonomic nervous system. *Health Problems of Civilization*, 14(1), 53–62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294> [in English].
26. Lyzohub, V. S., Yukhymenko, L. I., Khomenko, S. M., & Chernenko, N. P. (2010). Sertsevyi rytm u osib z riznoi funktsionalnoi rukhlyvisti nervovykh protsesiv pry pererobtsi slukhovoi informatsii [Heart rate in individuals with different functional mobility of neural processes during auditory information processing]. *Ucheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Biolohiia, khimiia*, 23(62)(4), 131–136 [in Ukrainian].
27. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., Makarchuk, M. Yu., Yukhymenko, L. I., & Khomenko, S. M. (2018). Indyvidualni neirodynamichni ta neirovegetativni vlastyviosti operatoriv mobilnoho zviazku [Individual neurodynamic and neurovegetative properties of mobile operators]. *Aktualni problemy transportnoi medytsyny*, (3)(53), 76–84. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1434367> [in Ukrainian].
28. Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Cognitive performance and heart rate variability: The influence of fitness level. *PLoS ONE*, 8(2), e56935. doi:10.1371/journal.pone.0056935 [in English].
29. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., & Yukhymenko, L. I. (2003). Sertsevyi rytm u studentiv z riznymi indyvidualno-typolohichnymi vlastyviostamy vyshchoi nervo-voi diialnosti za umov emotsiinoho stresu [Heart rate in students with different individual typological properties of higher nervous activity under conditions of emotional stress]. *Fiziolohichni zhurnal*, 49(1), 28–33 [in Ukrainian].
30. Makarenko, N. V., Lizogub, V. S., & Yukhymenko, L. I. (2006). Reactions of the autonomic nervous system of students with different characteristics of higher nervous activity in the situation of examination stress. *Human Physiology*, 32(3), 368–370. <https://doi.org/10.1134/S0362119706030182> [in English].
31. Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 18, 370–377. doi:10.1016/j.bspc.2015.02.012 [in English].
32. Stornio, J. L., Correale, L., Buzzachera, C. F., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2025). Editorial: New perspectives and insights on heart rate variability in exercise and sports. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7. doi:10.3389/fspor.2025.1574087 [in English].
33. Yang, F., Ma, Y., Liang, S., Shi, Y., & Wang, C. (2024). Effect of exercise modality on heart rate variability in adults: A systematic review and network meta-analysis. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 25(1), 9. doi:10.31083/j.rcm2501009 [in English].
34. Dong, J.-G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11(5), 1531–1536. doi:10.3892/etm.2016.3104 [in English].

35. da Silva, V. P., de Oliveira, N. A., Silveira, H., Mello, R. G. T., & Deslandes, A. C. (2014). Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: A systematic review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 20(2), 108–118. doi:10.1111/anec.12237 [in English].
36. Chakraborty, S., Suryavanshi, C. A., & Nayak, K. R. (2023). Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Annals of Medicine*, 55(2). doi:10.1080/07853890.2023.2267588 [in English].
37. Suryavanshi C. A., Nayak K. R. (2023). Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, 33(6), 647–654 [in English].
38. Welsh, M. R., Mosley, E., Laborde, S., Day, M. C., Sharpe, B. T., Burkill, R. A., & Birch, P. D. J. (2023). The use of heart rate variability in esports: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 102495. doi:10.1016/j.psychsport.2023.102495 [in English].
39. Corrigan, S. L., Roberts, S., Warmington, S., Drain, J., & Main, L. C. (2021). Monitoring stress and allostatic load in first responders and tactical operators using heart rate variability: A systematic review. *BMC Public Health*, 21(1). doi:10.1186/s12889-021-11595-x [in English].
40. Wang, P., Houghton, R., & Majumdar, A. (2024). Detecting and predicting pilot mental workload using heart rate variability: A systematic review. *Sensors*, 24(12), 3723. doi:10.3390/s24123723 [in English].
41. Soares, A. B. F., Almeida, M. F. d., Franchini, E., Ferreira, F. G., & Campos, F. A. D. (2024). Heart rate variability in military pilots during flight: A scoping review. *Military Medicine*. doi:10.1093/milmed/usae390 [in English].
42. Munoz, M. L., van Roon, A., Riese, H., Thio, C., Oostenbroek, E., Westrik, I., ... Snieder, H. (2015). Validity of (ultra-)short recordings for heart rate variability measurements. *Plos One*, 10(9), e0138921. doi:10.1371/journal.pone.0138921 [in English].
43. Bernardes, A., Couceiro, R., Medeiros, J., Henriques, J., Teixeira, C., Simões, M., ... Carvalho, P. (2022). How reliable are ultra-short-term HRV measurements during cognitively demanding tasks? *Sensors*, 22(17), 6528. doi:10.3390/s22176528 [in English].
44. Shaffer, F., Meehan, Z. M., & Zerr, C. L. (2020). A critical review of ultra-short-term heart rate variability norms research. *Frontiers in Neuroscience*, 14. doi:10.3389/fnins.2020.594880 [in English].
45. Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 08. doi:10.3389/fpsyg.2017.00213 [in English].
46. Quintana, D. S., Alvares, G. A., & Heathers, J. A. J. (2016). Guidelines for Reporting Articles on Psychiatry and Heart rate variability (GRAPH): Recommendations to advance research communication. *Translational Psychiatry*, 6(5), e803-e803. doi:10.1038/tp.2016.73 [in English].
47. Pinge, A., Gad, V., Jaisighani, D., Ghosh, S., & Sen, S. (2024). Detection and monitoring stress using wearables: A systematic review. *Frontiers in Computer Science*, 6. doi:10.3389/fcomp.2024.1478851 [in English].
48. Wang Y, Wang H, Wu S, & Xu L. (2022). Heart rate variability as a measure of mental fatigue in aviation and space operations. *Frontiers in Physiology*, 13, 831266 [in English].
49. Lehrer, P., Kaur, K., Sharma, A., Shah, K., Huseby, R., Bhavsar, J., ... Zhang, Y. (2021). Correction to: Heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: A systematic review and meta analysis. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 46(4), 389. doi:10.1007/s10484-021-09526-y [in English].
50. Blase, K., Vermetten, E., Lehrer, P., & Gevirtz, R. (2021). *Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>

Vovkanych L.

Candidate of biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Anatomy and Physiology
Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture
lsvovkanych@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6642-6368

Fedkiv M.

PhD student, Department of Human and Animal Physiology
Ivan Franko National University of Lviv
Lecturer of the Department of Anatomy and Physiology
Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture
mariyaf98@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9180-3164

**THE IMPACT OF COGNITIVE AND EMOTIONAL LOAD ON HEART RATE
VARIABILITY: NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND MODERN
APPROACHES TO ANALYSIS**

This review presents a comprehensive analysis of recent studies on changes in heart rate variability (HRV) under cognitive and emotional stress. The growing interest in HRV analysis stems from its potential as a non-invasive method for evaluating the human's physiological responses to psycho-emotional stimuli. The review aims to explore the neurophysiological mechanisms through which cognitive and emotional factors influence HRV, to identify characteristic patterns in key HRV indices under such conditions, and to address methodological considerations related to HRV measurement and interpretation during stress exposure. Current evidence supports a close link between HRV metrics and the functional activity of higher-order brain structures, particularly those within the central autonomic network (CAN), including the prefrontal cortex, hippocampus, and amygdala. Cognitive load is typically associated with sympathetic activation, increased heart rate, reduced high-frequency (HF) power, and decreased time-domain measures such as RMSSD and SDNN, alongside elevated low-frequency (LF) power. These responses are modulated by factors such as task complexity, individual characteristics, and physical fitness. Emotional stimuli, especially those eliciting fear or anxiety, tend to provoke more immediate and pronounced shifts in autonomic balance, marked by heightened sympathetic drive and diminished vagal tone. The review further examines HRV dynamics in athletes and professionals regularly exposed to cognitive or emotional stress, such as medical personnel, pilots, and emergency workers. It also addresses key limitations and potential sources of error in HRV-based stress assessment, including the constraints of ultra-short recordings and the need to account for individual variability. Finally, the review highlights promising avenues for future research, particularly the integration of mobile technologies for real-time HRV monitoring in occupational and sports contexts.

Key words: heart rate, autonomic nervous system, central autonomic network, ultra-short-term recordings, sport.

**Стаття до редакції надійшла 16.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 10.06.2025 року**