

УДК 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-98-109

Лілія Іванівна Юхименко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

liyukhimenko@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4455-6233>

Володимир Вікторович Козак

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

kozakvolodymyr1984@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1450-4284>

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОДИНАМІКИ ВЕРХНЬОЇ ПОРОЖНИСТОЇ ВЕНИ ПІД ЧАС ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ У РІЗНИХ ПРОЕКЦІЙНИХ ПОЛОЖЕННЯХ ТІЛА

Анотація. Вивчення впливу дихальної модуляції на гемодинаміку порожнистих вен у різних проекційних положеннях тіла дає можливість виявити роль дихального циклу у венозному поверненні крові до серця, динаміці кровотоку в судинах та реактивності центральної гемодинаміки. Вдих і видих, як і проекція тіла в просторі, є потужними регуляторами серцево-судинної діяльності. Застосування ультразвукового методу оцінки гемодинаміки верхньої порожнистої вени (ВПВ) у різних проекційних положеннях тіла та фазах дихання створює можливості для поглибленого вивчення перебігу фізіологічних процесів у нормі та патології. Метою роботи було з'ясування особливостей гемодинаміки ВПВ дорослих людей за допомогою методу ультразвукової доплерографії.

Обстежували 25 практично здорових волонтерів обох статей віком 19-27 років. Проводили УЗД-доплерографічну оцінку морфо-метричних показників ВПВ, функціональних характеристик кровотоку у ВПВ та параметрів центральної гемодинаміки. Аналізували гемодинаміку у різних фазах дихання та проекційних положеннях (горизонтально на спині та при супінації на лівому боці) апаратом Siemens Juniper Acuson (USA). Отримані фактичні дані обробляли методом варіаційної статистики за пакетом програм Microsoft Excel 2019.

Виявлено достовірні відмінності діаметрів ВПВ, зафіксованих у різних фазах дихального циклу та проекційних положеннях тіла. Встановлено, що функціональні характеристики ВПВ залежали як від діаметру судини, так і її здатності до змін у відповідності з фазами дихального циклу. Встановлено більш помітна варіативність показників центральної гемодинаміки у проекційному положенні лежачи на спині. Незалежно від фази дихання та положення тіла кровотік ВПВ характеризувався переважанням систолічних пікових швидкостей над діастолічними. Дихальна модуляція пікових швидкостей проявлялась переважанням систолічних і діастолічних пікових швидкостей у фазі вдиху над такими у фазі видиху та апное. Виявлено тенденцію до зниження функціональної спроможності правого шлуночка серця обстежуваних, які мали нижню межу норми за діаметром ВПВ та невисокі пікові швидкості кровотоку під час вдиху і видиху. Встановлено зворотній зв'язок між діаметром ВПВ та домінуванням симпатичного відділу автономної нервової системи в управлінні серцевою діяльністю.

Ключові слова: гемодинаміка, верхня порожниста вена, дихання, положення тіла.

Постановка питання. Як відомо, порушення гемодинаміки в системі верхньої порожнистої вени (ВПВ), що проявляються ускладненням відтоку деоксигенованої крові від верхніх частин тіла до правих відділів серця, можуть загрожувати наростанням ішемічних процесів [3, 4]. Недостатнє постачання кисню спричинює гіперперфузію мозку, створює

небезпеку зниження рівня метаболізму глюкози, яка постачається кров'ю та сприяє виникненню різноманітних церебральних ангіопатій [5].

Серед наслідків порушення венозного відтоку через ВПВ – зменшення серцевого викиду, розвиток системної гіпотензії. Ріст венозного тиску в системі ВПВ підвищує ризик тромбозу церебральних судин та ініціює незворотні зміни. Встановлено, що знижений кровотік через ВПВ створює умови, сприятливі для стазу, що посилює можливість утворення тромбів у венах верхніх кінцівок та глибоких венах голови та шиї [17].

ВПВ є тонкостінною судиною, що знаходиться в середньому середостінні між такими утвореннями як грудина, аорта, трахея, бронхи, лімфатичні вузли, які не надійно захищають її від можливості обструкції [5]. Слід розуміти, що хоч у ВПВ венозний тиск фізіологічно порівняно невисокий і існує велика кількість анастомозів з басейном нижньої порожнистої вени, які здатні за певних обставин деякою мірою компенсувати порушення кровообігу, транспорт крові може ускладнюватися багатьма чинниками. Серед них: небезпека зовнішнього стиснення вени, закупорка судини. Не виключено, що порушення гемодинаміки можуть бути спричинені і морфо-метричними особливостями вен.

Для адекватного функціонування організму, і в першу чергу, серця, мозку та інших органів, необхідний високий рівень кровообігу, в якому велику роль відіграють порожнисті вени, і зокрема ВПВ. У зв'язку із цим, важливо вивчити вплив фаз дихання (вдиху та видиху) на венозний відтік, який на сьогодні все ще залишається мало з'ясованим. Водночас, важливим є врахування гемодинамічних реакцій, які розвиваються у відповідь на дію факторів гравітації. Вони виникають при зміні положення тіла у просторі і можуть ускладнювати перебіг кровообігу, що теж потребує з'ясування.

Серед сучасних, порівняно не дорогих, швидких та інформативних засобів вивчення гемодинаміки в різних умовах існування організму, які не містять навантаження опроміненням вигідно вирізняється ультра звуковий метод дослідження. Особливо цінною така інформація може виявитися у медичній практиці оцінки та прогнозу розвитку можливих патологічних станів або плануванні лікувальних маніпуляцій, спрямованих на унеможливлення виникнення пошкоджень венозної стінки, порушень кровотоку тощо [6].

Слід зазначити, що проблемна гемодинаміка ВПВ може спричинювати розлади церебрального кровообігу. Відомо, що гіпоксія тканин мозку призводить до ішемічних проявів, які потребують ранньої діагностики. Адже вони можуть стати тригером біохімічних ланцюгових реакцій, які виснажують нейрони, мембранний транспорт, спричинюють іонний дисбаланс та некротичні зміни [7].

Отже, на сьогодні проблема гемодинамічних особливостей ВПВ чекає подальшого вирішення. Пошук нових діагностичних підходів до вивчення характеристик венозного відтоку від голови та верхньої частини тіла, впливу на нього різноманітних факторів, у тому числі фаз дихання та гравітації залишається актуальним. До того ж, така розвідка може стати у нагоді під час винайдення нових способів встановлення морфо-функціональних особливостей ВПВ, підбору терапевтичних тактик та рішень до відновлення (нормалізації) венозної гемодинаміки, що дозволить нівелювати ризик розвитку кисневого дефіциту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важкі нейро- та кардіо-гемодинамічні порушення, як наслідки розладів гемодинаміки ВПВ вже не одне десятиліття турбують фізіологів, морфологів, анестезіологів, хірургів [5]. Зниження артеріального венозного градієнта тиску в судинах мозку здатне спричинити важкі порушення у роботі головного мозку аж до смерті [6]. Автори наголошують, що системна гіпотензія, високий венозний тиск у басейні ВПВ загрожує ризиком розвитку тромботичних явищ у церебральних судинах [7]. З літератури відомо, що у разі гемодинамічних зрушень у багатьох випадках виникає венозний застій, органічне ураження та дистрофічні зміни тканин мозку, функціональні розлади, крововиливи органів середостіння, оклюзія вен і венозних пазух черепа, запалення підфасціальних вен тощо [13].

Повідомляється, що ускладнення через порушення гемодинаміки ВПВ проявляються розладами діяльності центральної нервової системи у вигляді епілептиформних епізодів і невротичних станів. Важкі випадки венозного застою можуть супроводжуватися неможливістю перебування людини у горизонтальному положенні тіла, що вказує на зв'язок між гравітацією і гемодинамікою ВПВ [5]. Про порушення гемодинаміки у ВПВ може свідчити зовнішній огляд: збільшення та виразна окресленість вен верхньої частини тулуба (лицевих, шийних, грудних вен, повнокрів'я венозних судин верхніх кінцівок) [3, 4].

Сьогодні ні в кого не виникає сумнівів, що якісна діагностика повинна враховувати морфологічні, функціональні ознаки порушення гемодинаміки ВПВ. Серед важливих морфометричних показників є визначення діаметру ВПВ, товщини її стінки. Щодо функціональних параметрів, то науковці вказують на високу інформативність показників швидкості руху крові [5].

Разом із тим, маловивченими є питання, пов'язані із виявленням впливу процесу дихання на кровотік у ВПВ. Такі відомості могли б значно полегшити не тільки уявлення про фізіологічні механізми розвитку патологічних процесів, але й етапність розгортання порушень, сприяти уточненню їх оцінки та можливих масштабів наслідків [9].

Серед класичних методів виявлення відхилень у гемодинаміці ВПВ є застосування флебографії, яка вважалась неоціненним інструментом кінця ХХ століття [5]. Використання рентгенографічного методу дослідження до цього часу значно полегшує розуміння морфологічного стану ВПВ. Разом із тим, на сьогодні місце «золотого стандарту» діагностики судинних порушень, зокрема ВПВ, зайняли засоби променевої діагностики, передусім, магнітно-резонансна томографія [5, 18]. Водночас, променеве навантаження, дорожнеча, тривалість процедури та обробки результатів створюють певні труднощі. Крім того, не дивлячись на достатньо високу інформативність, метод магнітно-резонансної томографії не завжди дозволяє виявити функціональні показники гемодинаміки внаслідок методичного виконання процедури: під час сеансу діагностики не можна змінювати положення у просторі і ін.

На відміну від цього, метод ультразвукової доплерографії (УЗД) є порівняно дешевим мобільним засобом оцінки як морфологічних, так і функціональних характеристик гемодинаміки порожнистих вен. Завдяки доступності та неінвазивному характеру, він набув популярності в оцінці станів ВПВ в останні роки [8]. У звіті про клінічний випадок, який опублікували А. Birch зі співавторами, продемонстровано значення УЗД для швидкої ідентифікації синдрому верхньої порожнистої вени [10]. Науковці наголошують, що виявлення значно розширених вен, разом зі стійкими симптомами, свідчить про діагноз синдрому ВПВ, що має спонукати до подальшого обстеження [11]. Водночас, на сьогодні застосування УЗД для дослідження гемодинаміки ВПВ є обмеженим внаслідок відсутності уніфікованих базових даних, технологій прийомів оцінки, трактування фактичного матеріалу, що потребує накопичення матеріалів та часу.

Але складно не погодитись, що якісна діагностика, продуманий дизайн дослідження може слугувати надійною основою для виявлення особливостей фізіологічних процесів, які розгортаються у ВПВ. Такі відомості стануть корисними у лікуванні та профілактиці різноманітних порушень кровообігу. Тим більше, що розлади гемодинаміки ВПВ можуть спричинювати порушення, у першу чергу, мозкової і серцевої діяльності, що робить проблему актуальною, хоч і не легкою для вирішення [12].

На жаль, в наш час в Україні спостерігається сумна статистична траєкторія зростання смертності від серцево-судинних та неврологічних захворювань, інвалідизації населення, зменшення тривалості життя. Почастішання випадків зниження скоротливої властивості серця, виникнення явищ серцевої недостатності вказує на існування гіпоксичних, обмінних, електролітних зрушень у міокарді, які виникають внаслідок збурення гемодинамічних процесів у ВПВ людини, що потребує подальших всебічних досліджень [5].

Науковці наголошують на необхідності проведення якомога ранньої діагностики, починаючи з морфологічних ознак судинної патології, функціональних розладів, які посилюють

важкість перебігу фізіологічних процесів, вказують на можливість розвитку ускладнень [4]. У літературі акцентується на важливості пошуку нових підходів, які допоможуть розкрити міжсистемні взаємодії, передусім, між кровообігом і диханням, кровообігом та мозковою активністю тощо. Адже якісна діагностика та фізіологічна оцінка здатні привнести нові можливості по запобіганню ранніх ознак дефіцитарності церебрального кровообігу, зниження інтелектуальних здібностей, когнітивних функцій, розвитку деменції тощо [8, 10]. Знання про анатомічні, фізіологічні характеристики, особливості швидкісного перебігу кровотоку, впливу фаз дихального циклу на гемодинаміку порожнистих вен допоможе збільшити можливості розуміння її вікових, статевих відмінностей, що сприятиме відповідному застосуванню необхідних запобіжних заходів, профілактиці ускладнень та підвищенню якості життя [16].

Недостатність кровопостачання мозку, венозна гіпертензія, посилення ішемічних процесів, пов'язані з порушеннями гемодинаміки ВПВ, збільшують статистику розвитку цереброваскулярних захворювань, провокує комплекс патологічних змін з боку міокарду та серцево-судинної системи в цілому [3, 6]. Отже, проведений аналіз літератури за проблемою свідчить про нагальність розробки питань відносно гемодинаміки ВПВ, що пов'язані із життєзабезпеченням та здоров'я-збереженням організму.

Метою нашої роботи було з'ясувати особливості гемодинаміки верхньої порожнистої вени дорослих людей за допомогою методу ультразвукової доплерографії. Для цього вирішували завдання по:

- вивченню морфо-метричних показників ВПВ;
- визначенню фізіологічних меж швидкісних показників венозного потоку у ВПВ;
- оцінці впливу фаз дихального циклу (вдиху, видиху, апное) на швидкісні характеристики кровотоку у різних гравітаційних положеннях.

Організація та методи дослідження. Дослідження проводили на базі Комунального некомерційного підприємства «Черкаський обласний кардіологічний центр Черкаської обласної ради». В обстеженні взяли участь 25 практично здорових чоловіків і жінок (середній вік склав $25,0 \pm 0,2$ років), що проходили у центрі моніторинг стану здоров'я і не мали скарг на серцеві хвороби.

Згідно мети та поставлених у роботі завдань вивчали особливості будови ВПВ методом ультразвукової доплерографії (УЗД-доплерографія). Визначення морфо-метричних показників та параметрів кровотоку у ВПВ обстежуваних проводили за допомогою апарату УЗД професійного класу Siemens Juniper Acuson (USA) із застосуванням секторного датчика в положеннях обстежуваного лежачи на спині та супінації на лівому боці. Для візуалізації ВПВ використовували супрастернальне вікно. Вимірювання діаметру (dВПВ) проводили на 1-2 см проксимальніше місця впадіння ВПВ у праве передсердя, з використанням трансторакального фазованого (секторального) датчика (2,5–5 МГц), налаштованого на глибину 10-15 см, низьким фільтром стінки та фокусом на рівні місця вимірювання. При визначенні швидкостей кровотоку використовували Doppler PRF 35 cm/s.

Протокол сканування оцінював морфо-метричні значення просвіту вени, товщини її стінки. Реєстрували пульс-хвильову доплерографію кровотоку, синхронізовану з електрокардіограмою (ЕКГ) та дихальними рухами. Записи виконували як під час спокійного дихання (фази вдиху і видиху), так і 10-секундних епізодів. Аналізували криві PW-доплерографії ВПВ. Визначали індекс колапсу ВПВ, вимірюючи її діаметр під час вдиху та видиху через надключичне вікно. Фіксували максимальний діаметр ВПВ під час видиху ($D_{\max}$) та мінімальний діаметр під час вдиху ($D_{\min}$). Розрахунок індексу колапсу (ІК) проводили за формулою: $((D_{\max} - D_{\min}) / D_{\max}) * 100\%$. Приймали, що високий індекс колапсу (понад 40-50%) вказує на гіповолемію, тоді як низький (20% і менше) на нормальний або підвищений тиск у правому передсерді, можливий надлишок води в організмі, гіперvoleмію та загрозу розвитку серцевої недостатності.

Систолічну функцію правого шлуночка (ПШ) вивчали за ехокардіографічним показником TAPSE (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion / Систолічна екскурсія

трикуспідального кільця). Для цього вимірювали амплітуду зміщення фіброзного кільця трикуспідального клапана відносно верхівки серця під час систоли у М-режимі (M-mode). Датчик встановлювали в апікальній чотирикамерній позиції, а курсор режиму виставляли вздовж латеральної частини кільця трикуспідального клапана. Вимірювали зміщення кільця трикуспідального клапана в М-режимі УЗД серця від діастолі до систоли. Приймали, що нормальний показник TAPSE становить понад 17 мм. Показники, які є меншими за це значення вказують на високу ймовірність порушень скоротливої функції ПШ та можуть бути ознакою серцевої недостатності [9]. Баланс між симпатичним та парасимпатичним відділами автономної нервової системи та рівень адаптаційних можливостей організму оцінювали індексом Кердо [1, 14].

Всі дослідження проводили за особистою письмовою згодою обстежуваних у відповідності до норм біоетики та з дотриманням положень МОЗ України від 13.03.2006, № 66 і Гельсінської Декларації (1975, пізніші редакції 1996–2013 рр.). Отримані фактичні дані обробляли методом варіаційної статистики за пакетом програм Microsoft Excel 2019. За тестом Шапіро-Вілکا вибірка відповідала закону нормального розподілу. Кореляційний аналіз здійснювали за Пірсоном. Достовірність змін і відмінностей між досліджуваними показниками оцінювали за t-критерієм Стюдента.

Результати та обговорення. Ми проаналізували середні значення діаметрів верхньої порожнистої вени (dВПВ) обстежуваних, отриманих у різних положеннях тіла та фазах дихального циклу (табл. 1).

Таблиця 1

**Показники діаметру верхньої порожнистої вени обстежуваних
у різних положення тіла та фазах дихального циклу**

Фази дихального циклу	Діаметр ВПВ у позиційному положенні тіла (см)	
	лежачи на спині	лежачи на лівому боці
вдих	$1,41 \pm 0,12^*$	$1,09 \pm 0,10^*$
видих	$1,97 \pm 0,14^{\#}$	$1,41 \pm 0,11^{\#}$
апноє	$1,70 \pm 0,13$	$1,24 \pm 0,13^{\#}$

Примітка. * – вірогідність відмінностей $p < 0,05$ відносно показників під час видиху; # – вірогідність відмінностей $p < 0,05$ відносно показників у положенні на лівому боці.

Встановлено, що показники dВПВ у положенні лежачи, не залежно від дихальної фази, здебільшого досягали 1,5 см. Максимальні значення на вдиху та видиху у цьому положенні дорівнювали, відповідно 1,6 та 1,9 см, а мінімальні сягали лише 1,37 під час вдиху та 1,49 на видиху (рис. 1).

Отже, під час інспірації, внаслідок існування негативного тиску у грудній клітці, ВПВ спадалась (колапсувала), що проявлялося зменшенням її діаметру до мінімуму. І навпаки, видих сприяв збільшенню діаметру ВПВ, який набував свого максимально можливого розміру через наповнення кров'ю з верхніх відділів тіла та відсутність опору.

Виміряні показники діаметру ВПВ у позиційному положенні на лівому боці продемонстрували схожі зміни: більші кількісні значення під час видиху та їх зменшення у фазі вдиху. Разом із тим, виявлено існування різниць між морфо-метричними показниками ВПВ залежно від позиційного положення тіла обстежуваного та фази дихального циклу. Так, зафіксований dВПВ під час фаз дихального циклу (як видиху, так і вдиху) на спині виявився достовірно більшим порівняно з показниками у положенні лежачи на лівому боці ($p < 0,05$). Водночас встановлено, що незалежно від позиційного положення тіла dВПВ під час видиху був достовірно більшим порівняно фазі вдиху ($p < 0,05$). Показники діаметрів ВПВ під час апноє, незалежно від позиційного положення обстежуваного займали проміжне положення між значеннями вдиху і видиху.

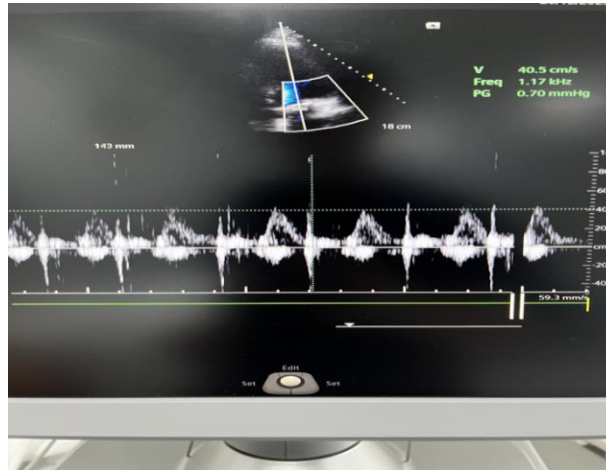


Рис. 1. Крива УЗД-доплерографії верхньої порожнистої вени обстежуваного А.

Відомо, що суттєвий індекс колапсу (зменшення діаметру) засвідчує існування нормального тиску у правому передсерді [2]. Згідно отриманих нами розрахунків, незалежно від позиційного положення тіла ІК коливався у широких межах від 22 до 54%. Зменшення діаметру ВПВ вказувало на засмоктування крові правим передсердям у фазу вдиху, демонструючи відносно достатній тиск та функціональний рівень серцевої діяльності. Разом з тим, низькі індивідуальні показники індексу колапсу (які не перевищували 20-24%), вказували на існування нормального або підвищеного тиску у правому передсерді. Отже, функціональні характеристики ВПВ залежали як від її діаметру, так і здатності до змін у відповідності з фазами дихального циклу: розширення під час видиху та стиснення (колапсу) при вдиху. Слід наголосити, що низький ІК міг вказувати на надлишковий об'єм рідини (гіперволемію), що може загрожувати розвитком серцевої недостатності.

Тому ми звернулись до аналізу функціональних показників центральної гемодинаміки (табл. 2).

Таблиця 2

Показники центральної гемодинаміки обстежуваних у різних положення тіла та фазах дихального циклу

Показники (min-max)	Позиційне положення тіла			
	лежачи на спині		лежачи на лівому боці	
	вдих	видих	вдих	видих
ЧСС	72,1 - 76,2	67,5 – 70,3	73,1 - 75,2	68,9 – 69,5
САТ	110,4 – 116,6	117,6 – 122,5	111,2 – 114,8	115,9 – 117,5
ДАТ	58,7 - 59,3	57,2 – 58,8	57,8 - 58,3	56,3 – 57,8
УОК, мл	72,8 - 74,1	70,3 – 71,7	72,1 - 73,4	71,4 – 71,9
ХОК, л	5,2 - 5,5	4,8 – 5,1	4,9 - 5,1	4,9 – 5,0
СІ, у.о.	3,1-3,2	2,8-3,1	3,0-3,1	2,9 – 3,1

Як видно з таблиці, проглядались чіткі зміни ЧСС у різних фазах дихання та позиційних положеннях обстежуваного. Вони були типовими, хоч і дещо виразнішими у положенні лежачи на спині. Вдих порівняно з видихом, характеризувався дихальною аритмією: більш вищим пульсом, що демонстрував помірну тахікардію, яка розгорталась внаслідок розтягнення легеневих рецепторів та пригнічення блукаючого нерва. Водночас, зменшення тиску в грудній клітці активувало симпатичну іннервацію. Видих викликав збільшення тиску всередині грудної клітки, що стимулювало вагус і проявлялось брадикардією. Такі зміни демонстрували нормальну фізіологічну реакцію та засвідчували існування тісної взаємодії між дихальною та серцево-судинною системами.

Як відомо з літератури, динаміка артеріального тиску тісно пов'язана з внутрішньо-грудними коливаннями тиску та венозним поверненням крові до серця [2]. Виявлено, що під час вдиху, внаслідок збільшення венозного потоку до правого передсердя і короточасного зменшення ударного об'єму лівого шлуночка, показники САТ дещо знижувалися. На видиху вони демонстрували збільшення кількісних значень, оскільки венозне повернення крові до серця ненадовго зменшувалося та поступово відновлювалося. Показники ДАТ були більш консервативними та майже не змінювалися. Отже, артеріальний тиск в різних позиційних положеннях характеризувався невеликою дихальною варіацією, що відповідало нормі.

Згідно сучасних уявлень про фізіологію гемодинаміки, дихання лежачи викликає коливання УОК та ХОК у бік зменшення під час видиху та у сторону збільшення під час вдиху [8]. Така динаміка може бути відгуком на зміни внутрішньо-грудного та внутрішньо-черевного тиску. У відповідності до механізму «дихальної помпи», який критично важливий для гемодинаміки, вдих призводить до збільшення периметру грудної клітки на фоні зменшення тиску, сприяючи венозному кровонаповненню серця. Видих, стискаючи вени, зменшує венозний потік [2]. Така фізіологія дихального акту на короткий час дещо зменшувала показники УОК в обох положеннях, демонструючи невеликі коливання. Разом із тим, показники ХОК були дещо помітнішими. Так, під час вдиху у положенні на спині було зафіксовано невелике збільшення УОК, що ймовірно, було пов'язане з кращими умовами для кровонаповнення серця, зниженням тиску в аорті і супроводжувалося, як згадувалося вище, тенденцією до інспіраторної тахікардії, що відповідає нормі. У положенні на лівому боці показники УОК та ХОК під час вдиху змінювалися ще менше.

Фаза видиху, що супроводжувалась зміщенням діафрагми догори та розслабленням міжреберних м'язів, внутрішньо-грудний тиск зростає, демонструючи зміни у бік позитивності. Венозне повернення крові до серця відповідно знижувалося внаслідок стискування венозних судин. За цих умов у положенні обстежуваних на спині ми спостерігали невеликі зміни показників УОК у бік зменшення, адже приплив крові до правого передсердя знижувався, що узгоджувалося з експіраторною брадикардією.

Під час супінації на лівому боці відбувались аналогічні зміни, разом із тим, вони були майже не помітними, ймовірно, внаслідок менш вигідних умов для венозного повернення крові до серця і, в основному, залежали від регуляторних впливів автономної нервової системи. Отже, у горизонтальних позиційних положеннях ми спостерігали схожу динаміку з більш помітною виразністю у позиції лежачи на спині, яка характеризувалась у фазі вдиху незначними фізіологічними коливаннями УОК і ХОК у бік збільшення, а у фазі видиху несуттєвим їх зменшенням внаслідок ініційованих перебудов внутрішньо-грудного тиску та венозного повернення крові.

Під час аналізу показників СІ та пов'язаних з ним показників УОК та ХОК, ми виявили аналогічні циклічні зміни, які залежали від фаз вдиху і видиху. Фаза вдиху змінювала внутрішньо-грудний тиск на негативний, значно полегшувала наповнення правих відділів серця та збільшувала ЧСС. Фаза видиху навпаки, призводила до підвищення внутрішньо-грудного тиску, що перешкоджало вільному поверненню крові до правих відділів серця та відображалось зниженням ЧСС, УОК та ХОК. Отже, зміни СІ у позиційних положеннях відбувались у відповідності до вище згаданих процесів розподілу крові та венозного повернення, що проявлялось стимулюванням правих відділів серця у фазі вдиху.

Оскільки спостерігалась тенденція до більш виразних змін функціонування серцево-судинної системи під час фаз вдиху і видиху у позиційному положенні обстежуваних лежачи на спині ми проаналізували, як змінювались пікові швидкості прямого та зворотного кровотоку у ВПВ за цих умов (табл. 3).

З таблиці видно, що у цілому швидкісні характеристики гемодинаміки ВПВ обстежуваних характеризувалися чіткими різницями між показниками, зафіксованими у фазах вдиху і видиху, а також апное. Кількісні значення систолічної пікової швидкості під час вдиху були достовірно вищими відносно тих, що відповідали діастолі серця у цій фазі дихання ($p < 0,05$). Схожі закономірності прослідковувалися і під час фази видиху та апное, де систолічні показники пікової швидкості переважали кількісні значення діастолічних.

Таблиця 3

**Середні показники пікової швидкості прямого та зворотного кровотоку
у верхній порожнистій вені обстежуваних (M±m)**

Фази серцевого циклу	Фази дихання		
	вдих	видих	апноє
систола QRS-T	53,9±2,0 [#]	42,8±1,7 ^{^#}	45,7 ±1,8 ^{*#}
діастола рання Т-Р	33,6 ± 1,9	22,2 ± 1,8 [^]	27,1 ± 1,6 [*]
діастола пізня Р-QRS (відновлення)	20,8 ± 1,7	18,1 ± 1,3	19,2 ± 1,4

Примітка. * – достовірність різниць $p < 0,05$ відносно показників вдиху, ^ – показників видиху та апноє, # – показників діастоли; QRS- комплекс ЕКГ, Т та Р- зубці ЕКГ.

Привертають увагу пікові швидкості, встановлені під час систоли і діастоли серця у фазі вдиху, які виявилися достовірно вищими відносно таких як у фазі видиху, так і апноє ($p < 0,05$). Найнижчими у ВПВ піковими швидкостями виглядали ті, що були зафіксовані у фазі видиху. Порівняно із систолічними, показники пікової швидкості кровотоку зменшились під час видиху на 26,2 %, а відносно апноє відсоток зниження коливався у межах 15,3 %.

Отже, встановлено, що кровотік у ВПВ характеризувався переважанням систолічних пікових швидкостей над діастолічними. Водночас, дихальна модуляція пікових швидкостей проявлялась переважанням систолічних і діастолічних пікових швидкостей у фазі вдиху над такими у фазі видиху та апноє. Можемо констатувати, що вивчення швидкостей кровотоку у ВПВ методом УЗД з доплерографією є інформативним засобом, що надає детальну інформацію стосовно особливостей венозної гемодинаміки у різні фази дихального циклу.

У відповідності до поставлених завдань по вивченню морфологічних та функціональних показників забезпечення роботи правих відділів серця у різних проєкційних положеннях та фазах дихання ми проаналізували систолічну функцію правого шлуночка (ПШ) за екскурсією трикуспідального клапану, скориставшись ехокардіографічним показником TAPSE. Виходили з того, що цей показник вимірює амплітуду зміщення фіброзного кільця клапана відносно верхівки серця під час систоли та відображає спроможність ПШ забезпечувати функціонування малого кола кровообігу та обмін дихальних газів у легенях. Враховували, що ПШ отримує значну частку крові з порожнистих вен (з ВПВ може бути понад 50% від загального об'єму, оскільки отримує кров від великої ділянки тіла) [11]. Результати проведеного аналізу за показником TAPSE показані на рис. 2.

Як видно з рисунку, показники TAPSE в обох проєкційних положеннях тіла та фазах дихання перебували у межах норми, але характеризувались значною варіативністю. Трохи кращим показник TAPSE виявився у положенні на спині, що можливо пов'язано з більш вигідним позиційним положенням тіла обстежуваних, яке створювало більш оптимальне для венозного відтоку крові до серця середовище порівняно з положенням лежачі на лівому боці.

Водночас, індивідуальний аналіз показників обстежуваних виявив у деяких з них тенденцію зниження, особливо у тих, у кого за діаметром ВПВ та піковою швидкістю під час вдиху і видиху кількісні значення перебували на нижній межі норми. Цікавим є те, що такі обстежувані характеризувались показником TAPSE, що був на 12,7 - 14,5% нижчим порівняно допустимої норми. Не виключено, що таке зниження амплітуди може говорити про існування ризику недостатності прокачування крові по малому колу кровообігу. Можна припустити, що виявлені у цих обстежуваних вузький діаметр ВПВ сприяв зменшенню швидкості відтоку крові до серця та у ПШ, що знижувало спроможність доставки крові у легеневе коло кровообігу та демонструвало низьку продуктивність такого варіанту кровотоку. Ймовірно, що у цьому разі фракція викиду ПШ може виявлятися зниженою. На такі випадки вказують дані і інших авторів, які проводили схожі дослідження, але радіоізотопними та МРТ методами [16]. Разом із тим, наші результати не можуть вважатися цілком вичерпними, оскільки потребують подальшого вивчення та накопичення ширшої бази фактичних даних.

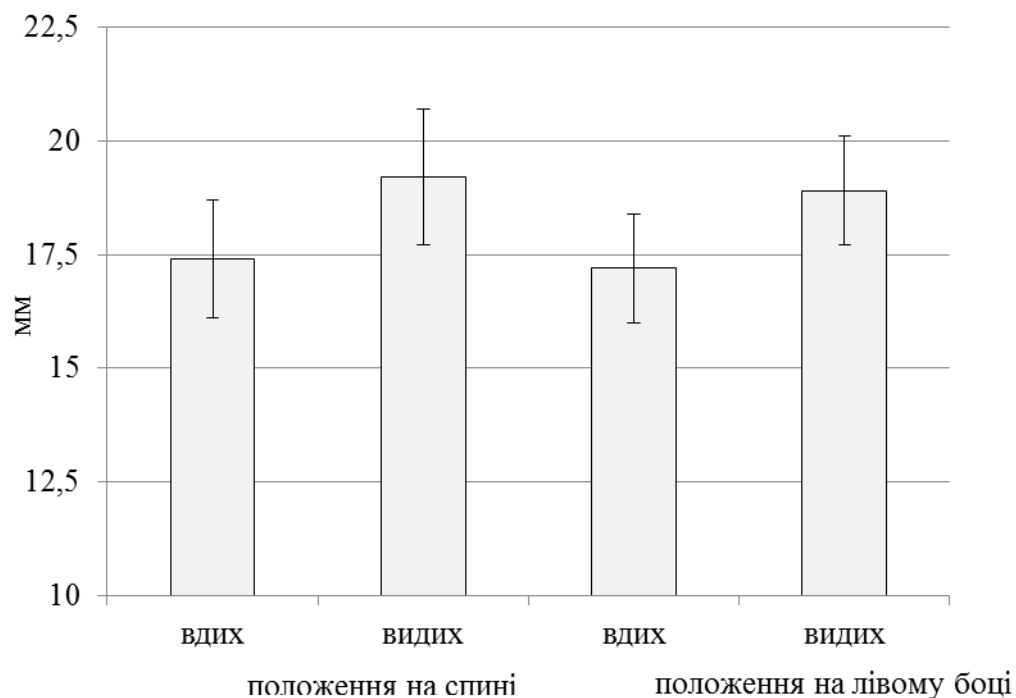


Рис. 2. Динаміка ехокардіографічного показника TAPSE під час фаз дихального циклу у різних проекційних положеннях обстежуваних.

Розглядаючи зміни показників гемодинаміки у різні фази дихання, слід підкреслити на існуванні тісного зв'язку між функцією дихання та вегето-судинною рівновагою. Адже як серцева, так і дихальна системи отримують потужні регуляторні впливи з боку автономної нервової системи (АНС) [2]. Для оцінки балансу між симпатичним та парасимпатичним відділами АНС обстежуваних, загального адаптаційного потенціалу та впливу на гемодинаміку ВПВ у положенні обстежуваного лежачи на спині, ми проаналізували показники індексу Кердо.

Виявилось, що біля 50% обстежених характеризувались домінуванням симпатичної нервової системи. У 25% обстежуваних встановлено переважання парасимпатичного відділу АНС. Осіб з відносно гармонійним балансом АНС також виявилось $\frac{1}{4}$ від загальної кількості обстежуваних. Застосований нами кореляційний аналіз між діаметром вени та індексом Кердо встановив існування зворотного зв'язку, який вказував: чим вужчим був діаметр вени, тим більшою ставала ймовірність домінування симпатичного відділу АНС в управлінні серцевою діяльністю, що чинило вплив на гемодинаміку ВПВ у даному проекційному положенні тіла ($p < 0,05$).

Таким чином, вивчення гемодинаміки верхньої порожнистої вени дорослих людей за допомогою методу УЗД - доплерографії дозволив виявити ряд важливих морфо-метричних та функціональних особливостей, які можуть бути корисними у фізіологічній та медичній практиці.

Висновки.

1. Виявлено достовірні відмінності морфо-метричних показників верхньої порожнистої вени, зафіксованих у різних фазах дихального циклу та проекційних положеннях тіла. Морфо-функціональні характеристики верхньої порожнистої вени залежали як від діаметру судини, так і її здатності до змін у відповідності з фазами дихального циклу: стискатися (колапс) під час вдиху та розширюватися при видиху.

2. Позиційне розташування тіла впливало на зміни діаметру верхньої порожнистої вени, обумовлюючи ступінь її спадання, що відображало тенденцію до більш виразного у положенні на спині.

3. Кровотік верхньої порожнистої вени характеризувався переважанням систолічних пікових швидкостей над діастолічними. Дихальна модуляція пікових швидкостей

проявлялась переважанням систолічних і діастолічних пікових швидкостей у фазі вдиху над такими ж у фазі видиху та апное.

4. Встановлена більш помітна варіативність показників центральної гемодинаміки під час дихального циклу у проекційному положенні лежачи на спині.

5. Виявлено тенденцію до зниження функціональної спроможності правого шлуночка серця за ехокардіографічним показником екскурсії трикуспідального клапану у обстежуваних, які мали нижню межу норми за діаметром верхньої порожнистої вени та невисокі пікові швидкості кровотоку під час вдиху і видиху.

6. Виявлено зворотній зв'язок між діаметром верхньої порожнистої вени та домінуванням симпатичного відділу автономної нервової системи в управлінні серцевою діяльністю, що проявлялось у гемодинаміці верхньої порожнистої вени у положенні лежачи обстежуваного на спині.

Перспективи подальших досліджень. Подальша розробка тематики впливу фаз дихання на кровообіг порожнистих вен планується у розрізі вивчення вікових, статевих та індивідуальних особливостей гемодинаміки.

Список використаної літератури

1. Афанасьєва О.В., Євдокімов Є.І. Застосування індексу Кердо в практиці фізичного реабілітолога. Проблеми фізичного виховання і спорту. – 2011. – № 4. – С. 23-26.
2. Григорова І. А., Соколова Л. І., Герасимчук Р. Д. та ін. Неврологія : нац. підруч. для студ. вищ. мед. нав. закл. IV рівня акредитації. - К. : ВСВ Медицина, 2014. - 640 с.
3. Йовенко І. А., Кобеляцький Ю. Ю., Царьов А. В. і ін. Гемодинамічний моніторинг в практиці інтенсивної терапії критичних станів // Медицина невідкл. станів. – 2016. – № 5. – С. 42–46.
4. Козьолкін О. А., Ревенько А. В., Медведкова С. О., Кузнецов А. А. Судинні захворювання головного та спинного мозку (діагностика, лікування та профілактика) : навч.-метод. посіб. для лікарів-інтернів неврологів, терапевтів, сімейних лікарів. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2017. - 120с.
5. Красносельський М. В., Крутько Є. М., Пилипенко С. А. Діагностика та інтенсивна терапія порушень нейро-кардіо-гемодинаміки у онкологічних хворих з синдромом верхньої порожнистої вени. – Харків: ІМР, 2019. – 119 с.
6. Стаднік С. М. Гостра ішемія мозку в клініці кардіологічної реанімації та інтенсивної терапії: фактори розвитку, прояви, наслідки та застосування нейропротективної терапії: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15; Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика. К., 2012. – 20 с.
7. Фадєєв П. О. Інсульт. - Т. : Навч. кн. - Богдан, 2011. - 159 с.
8. Ali N., Tan A., Chenkin J. From compression to diagnosis: identification of superior vena cava syndrome using point-of-care ultrasound in the emergency department. International Journal of Emergency Medicine. (2024). <https://doi.org/10.1186/s12245-024-00597-2>.
9. Azizi A. H., Shafi I., Shah N., Rosenfield K., Schainfeld R., Sista A., Bashir R. Superior vena cava syndrome. Cardiovasc Interv. 2020;13(24):2896–910.
10. Birch A, Um D, Laselle B. Ultrasound detection of superior vena cava thrombus. Western Journal of Emergency Medicine. 2014;15(6):715.
11. Blanco P., Esteban F., Leonardi I. Superior vena cava obstruction and mediastinal mass detected by point-of-care ultrasonography. J Clin Ultrasound. 2020;48:569–73. <https://doi.org/10.1002/jcu.22847>.
12. Gupta A., Kim D. N., Kalva S., Reznik S., Johnson D. H. Superior Vena Cava Syndrome. In Abelloff's Clin Oncol. 2020 ;775–85. Elsevier.
13. Hou J., Zhang J., Ma M., Gong Z., Xu B., Shi Z. Thrombotic risk factors in patients with superior vena cava syndrome undergoing chemotherapy via femoral inserted central catheter. Thromb Res. 2019;1(184):38–43.
14. Kérdő I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage // Acta neurovegetativa. — 1966. — Bd. 29. — № 2. — S. 250—268.
15. Pilipenko S. Changes in cardiohemodynamic indicators of oncological patients with superior vena cava syndrome. EMERGENCY MEDICINE, (2018). (1.88), 122–126. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.1.88.2018.124978>.
16. Tan G., Ng M. Emergency department point-of-care ultrasound for upper extremity deep venous thrombosis ED POCUS for upper extremity DVT. Int J Emerg Med. 2021;14:1–4.
17. Whitson M. R., Mayo P. H. Ultrasonography in the emergency department. Crit Care. 2016;20:1–8.
18. Zimmerman S., Davis M. Rapid fire: superior vena cava syndrome. Emerg Med Clin. 2018;36(3):577–84.

References

1. Afanasieva, O. V., & Evdokimov, Y. I. (2011). Zastosuvannia indeksu Kerdo v praktysi fizychnoho rehabilitoloha [Application of the Kerdo index in the practice of a physical rehabilitation specialist]. Problemy fizychnoho vykhovannia i sportu, (4), 23-26. (In Ukrainian).

2. Hryhorova, I. A., & Sokolova, L. I. (Eds.). (2014). *Nevrologiia: nats. pidruch. dlia stud. vyshch. med. navch. zakl. IV riv. akred.* [Neurology: National textbook for students of higher medical educational institutions, IV level of accreditation]. Kyiv, Ukraine: VSV Medytsyna. 640 pp. (In Ukrainian).
3. Yovenko, I. A., Kobeliatskyi, Y. Y., Tsarov, A. V., et al. (2016). Hemodynamic monitoring in intensive care practice of critical conditions [Hemodynamichniy monitorynh v praktytsi intensyvnoi terapii krytychnikh staniv]. *Medytsyna nevidkladnykh stsev*, (5), 42-46. (Article in Ukrainian).
4. Kozelkin, O. A., Revenko, A. V., Medvedkova, S. O., & Kuznetsov, A. A. (2017). *Sudynni zakhvoriuvannia holovnoho ta spynnoho mozku (diahnostyka, likuvannia ta profylaktyka)* [Vascular diseases of the brain and spinal cord (diagnosis, treatment, and prevention): Educational-methodical manual for intern physicians — neurologists, therapists, family physicians] [in Ukrainian]. Zaporizhzhia, Ukraine: Zaporizhzhia State Medical University (ZDMU).
5. Krasnoselsky, M. V., Krutko, Y. M., & Pilipenko, S. A. (2019). *Diahnostyka ta intensyvna terapiia porushen' neuro-kardio-hemodynamiky u onkologichnykh khvorykh z syndromom verkhnoi porozhnystoi viny* [Diagnosis and intensive therapy of neuro-cardiovascular hemodynamic disorders in oncological patients with superior vena cava syndrome]. Kharkiv, Ukraine: IMR. (Book in Ukrainian).
6. Stadnik, S. M. (2012). *Hostra ishemii mozku v klinitsi kardiolohichnoi reanimatsii ta intensyvnoi terapii: faktory rozvytku, proiavy, naslidky ta zastosuvannia neiroprotektivnoi terapii* [Acute cerebral ischemia in the clinic of cardiologic resuscitation and intensive therapy: development factors, manifestations, consequences, and application of neuroprotective therapy] [Author's abstract of candidate dissertation]. National Medical Academy of Postgraduate Education named after P. L. Shupyk, Kyiv, Ukraine. (Dissertation abstract in Ukrainian).
7. Fadeyev, P. O. (2011). *Insult [Stroke]*. Ternopil, Ukraine: Navchalna knyha–Bohdan. (Book in Ukrainian).
8. Ali, N., Tan, A., & Chenkin, J. (2024). From compression to diagnosis: Identification of superior vena cava syndrome using point-of-care ultrasound in the emergency department. *International Journal of Emergency Medicine*. <https://doi.org/10.1186/s12245-024-00597-2>.
9. Azizi, A. H., Shafi, I., Shah, N., Rosenfield, K., Schainfeld, R., Sista, A., & Bashir, R. (2020). Superior vena cava syndrome. *Cardiovasc Interv*, 13(24), 2896-2910.
10. Birch, A., Um, D., & Laselle, B. (2014). Ultrasound detection of superior vena cava thrombus. *Western Journal of Emergency Medicine*, 15(6), 715.
11. Blanco, P., Esteban, F., & Leonardi, I. (2020). Superior vena cava obstruction and mediastinal mass detected by point-of-care ultrasonography. *Journal of Clinical Ultrasound*, 48, 569–573. <https://doi.org/10.1002/jcu.22847>.
12. Gupta, A., Kim, D. N., Kalva, S., Reznik, S., & Johnson, D. H. (2020). Superior vena cava syndrome. In *Abeloff's Clinical Oncology* (pp. 775-785). Elsevier.
13. Hou, J., Zhang, J., Ma, M., Gong, Z., Xu, B., & Shi, Z. (2019). Thrombotic risk factors in patients with superior vena cava syndrome undergoing chemotherapy via femoral inserted central catheter. *Thrombosis Research*, 184, 38-43.
14. Kérdő, I. (1966). Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage [An index calculated from blood circulation data to assess vegetative (autonomic) tone]. *Acta Neurovegetativa*, 29(2), 250-268. (Article in German).
15. Pilipenko, S. (2018). Changes in cardiohemodynamic indicators of oncological patients with superior vena cava syndrome. *Emergency Medicine*, (1.88), 122-126. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.1.88.2018.124978>.
16. Tan, G., & Ng, M. (2021). Emergency department point-of-care ultrasound for upper extremity deep venous thrombosis (ED POCUS for upper extremity DVT). *International Journal of Emergency Medicine*, 14, 1-4.
17. Whitson, M. R., & Mayo, P. H. (2016). Ultrasonography in the emergency department. *Critical Care*, 20, 1–8.
18. Zimmerman, S., & Davis, M. (2018). Rapid fire: Superior vena cava syndrome. *Emergency Medicine Clinics*, 36(3), 577-584. Zimmerman S, Davis M. Rapid fire: superior vena cava syndrome. *Emerg Med Clin*. 2018;36(3):577-84.

Liliia Yukhymenko, Volodymyr Kozak

CHARACTERISTICS OF HEMODYNAMICS OF THE SUPERIOR VENA CAVA DURING THE RESPIRATORY CYCLE IN DIFFERENT PROJECTED BODY POSITIONS

Introduction. *Studying the effect of respiratory modulation on the haemodynamics of the superior vena cava (SVC) in different body positions makes it possible to reveal the role of the respiratory cycle in venous return of blood to the heart, blood flow dynamics in the vessel, and central haemodynamic reactivity. Inhalation and exhalation, like the projection of the body in space, are powerful regulators of cardiovascular activity. The use of the ultrasound method to assess SVC haemodynamics in different body positions and respiratory phases creates opportunities for in-depth study of the course of physiological processes in normal and pathological conditions.*

Objective. The aim of our study was to determine the characteristics of haemodynamics in the superior vena cava of adults using ultrasound Doppler imaging.

Methods of the study. We examined 25 practically healthy volunteers of both sexes aged 19-27 years. We performed ultrasound Doppler assessment of the morphometric parameters of the SVC, functional characteristics of blood flow in the SVC, and parameters of central haemodynamics. Haemodynamics were analysed in different phases of respiration and projection positions (horizontally on the back and supination on the left side) using a Siemens Juniper Acuson (USA) device. The actual data obtained were processed using the method of variational statistics with the Microsoft Excel 2019 software package.

Main results of the study. Significant differences in the morphometric parameters of the SVC recorded in different phases of the respiratory cycle and positions were found. The functional characteristics of the SVC depended on both the diameter of the vessel and its ability to change in accordance with the phases of the respiratory cycle. More noticeable variability in central haemodynamic parameters was found in the supine position. Regardless of the respiratory phase and body position, blood flow in the SVC was characterised by a predominance of systolic peak velocities over diastolic ones. Respiratory modulation of peak velocities manifested itself in the predominance of systolic and diastolic peak velocities in the inspiratory phase over those in the expiratory phase and apnoea.

Scientific novelty of the study results. A tendency towards a decrease in the functional capacity of the right ventricle of the heart was established in the examined patients, who had the lower limit of the norm for the SVC diameter and low peak blood flow velocities during inhalation and exhalation. An inverse relationship was found between SVC and the dominance of the sympathetic division of the autonomic nervous system in the control of cardiac activity.

Conclusions and specific suggestions of the author. The study of morphometric indicators and blood flow velocities in the SVC using ultrasound with Doppler imaging opens up new opportunities for understanding the characteristics of venous haemodynamics in different phases of the respiratory cycle, which will contribute to a deeper understanding of the physiological mechanisms of the cardio-respiratory system and may be useful in the early diagnosis of risks of developing heart failure.

Keywords: hemodynamics, superior vena cava, breathing, body position.

Надійшла до редакції / Received: 08.12.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025