УДК 612.8
DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-47-54

Володимир Вікторович Козак
Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького
neofeet996@gmail.com
ORCID ID: http://orcid.org/0009-0007-1450-4284
Лілія Іванівна Юхименко
Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького
liyukhimenko@ukr.net
ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-4455-6233

СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ГЕМОДИНАМІКИ ПОРОЖНИСТИХ ВЕН ЛЮДИНИ В РІЗНИХ ФАЗАХ ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ

Анотація. *У статті представлено результати теоретичного аналізу наукової літератури відносно стану вивчення проблеми гемодинаміки порожнистих вен людини у різні фази дихального циклу з акцентом на ультразвуковий метод.* ***Метою*** *нашого дослідження було проведення аналізу та узагальнення відомостей сучасних наукових літературних джерел щодо особливостей методу ультразвукового дослідження порожнистих вен людини (нижньої та верхньої) для виявлення взаємозв'язку показників венозної гемодинаміки з фазами дихального циклу. Матеріали та методи. В ході дослідження було використано* ***методи*** *теоретичного аналізу, систематизації та узагальнення сучасної наукової літератури. Результати. Ультразвукове дослідження порожнистих вен (УЗД) є високоефективним, неінвазивним та безпечним методом оцінки центральної гемодинаміки, що активно використовується як у сучасній медичній практиці, так і фізіологічних дослідженнях. Його переваги включають доступність, відсутність променевого навантаження, можливість застосування в екстрених ситуаціях та високу інформативність при оцінці об'ємного статусу пацієнтів. Аналіз літератури засвідчив нагальну потребу в розробці стандартизованого протоколу УЗ-дослідження порожнистих вен, який враховуватиме положення тіла, фазу дихання, тип доступу та точку вимірювання. Такий протокол значно покращить достовірність, відтворюваність та експериментальну і клінічну цінність отриманих результатів.* ***Висновок.*** *Подальші дослідження будуть спрямовані на уточнення механізмів взаємодії дихання та венозного повернення, порівняння показників верхньої та нижньої порожнистих вен у різних клініко-фізіологічних сценаріях, а також створення алгоритмів комплексної оцінки гемодинаміки для використання у щоденній практиці.*

Ключові слова: *порожнисті вени; ультразвукова діагностика; гемодинаміка порожнистих вен; ультразвукове дослідження; індекс спадання / розтягнення; дихальний цикл; центральний венозний тиск.*

Актуальність теми. Ультразвукова оцінка порожнистих вен, зокрема нижньої порожнистої вени (IVC), є важливим неінвазивним методом оцінки гемодинаміки, який широко застосовується в різних галузях фізіології та медицини: неврології, кардіології, нефрології, анестезіології, реаніматології і ін. Адже величина діаметра порожнистих вен та його зміни, що виникають у відповідь на дихальні рухи, слугують важливими індикаторами центрального венозного тиску і характеризують об'ємний статус певної людини [1, 2].

У сучасних умовах зростання потреби у швидкій і точній оцінці центральної та периферичної гемодинаміки, особливо в критичних невідкладних станах, показники, отримані методом ультразвукового дослідження порожнистих вен (УЗД) стають інформативним, доступним та практичним інструментом клінічної діагностики. Проте, існує низка дискусійних моментів щодо точності отриманих під час проведення УЗД показників,

уніфікації методів їх вимірювання, врахування впливу дихальних маневрів, положення тіла та пов'язаних з ними змін багатьох фізіологічних параметрів, а також оцінки їх впливу на кінцеві результати дослідження. У літературі спостерігається значна варіативність у підходах до інтерпретації отриманих даних щодо вивчення гемодинаміки порожнистих вен у різних фізіологічних та клінічних контекстах [3,4].

У зв'язку з цим виникає необхідність у систематизації наявних наукових джерел з проблеми, проведенні аналізу існуючих методик, порівнянні ефективності існуючих практик та визначенні наукових прогалин, які потребують подальшого вивчення.

Постановка проблеми та мета огляду. Незважаючи на широке впровадження ультразвукових методів дослідження у практику сучасної фізіології та медицини, досі залишається невирішеною низка питань, пов'язаних із стандартизацією оцінки морфології та гемодинаміки порожнистих вен. Зокрема, відсутність єдиного уніфікованого підходу до вимірювання діаметра нижньої порожнистої вени (VCI), інтерпретації її колапсувального індексу та впливу респіраторних змін значно обмежує точність діагностичних висновків [**5**]. Адже різні клініцисти або науковці-дослідники можуть вимірювати VCI у неоднакових точках (наприклад, на різній відстані від правого передсердя), в різних фазах дихального циклу, з використанням різних технік (М-режим, В-режим, доплер). Варто відмітити, що до цих пір, як серед фізіологічних стандартів, так і в клінічній практиці, не визначені чіткі, загальноприйняті порогові значення колапсувального індексу для визначення об'єму рідини в організмі або центрального венозного тиску, а без достатньої стандартизації інтерпретація стає суб'єктивною. Водночас, результати численних досліджень демонструють значну варіабельність у методиках дослідження, залежність параметрів венозного кровотоку від типу дихання, положення тіла людини, індивідуальних анатомо-фізіологічних особливостей, клінічного стану і ін. [1-7]. Таке становище знижує можливість порівняння даних, ускладнює фізіологічну інтерпретацію та інтеграцію результатів у клінічні протоколи, створює передумови для формування хибних висновків і прийняття помилкових лікувально-діагностичних рішень.

Таким чином, постає необхідність у проведенні теоретичного аналізу наявної наукової літератури, зіставленні вже існуючих підходів до ультразвукової оцінки порожнистих вен, виявленні їх особливостей, критичному огляді сильних і слабких сторін різних практичних досліджень, розгляду найбільш оптимальних авторських результатів та окресленні перспективних напрямів для майбутнього застосування.

Мета дослідження: проаналізувати результати робіт авторів, присвячених вивченню особливостей застосування методу ультразвукового дослідження для вивчення порожнистих вен людини (нижньої та верхньої) та виявити взаємозв'язок показників венозної гемодинаміки з фазами дихального циклу за даними літератури.

Матеріали і методи дослідження. В ході дослідження було використано методи теоретичного аналізу, систематизації та узагальнення сучасної наукової та науково-методичної літератури.

Аналіз останніх публікацій. В наш час для вивчення морфології та функції судин існує ряд відомих інструментальних методів дослідження. Вони надають науковцям широкі можливості для досліджень, забезпечуючи високу діагностичну точність результатів та їх подальше використання у тлумаченні фізіологічних процесів. Використання таких знань у медичній практиці підвищує ефективність лікування та допомагає запобігати небезпечним ускладненням. Разом із тим, деякі з них поступово втрачають свою актуальність через недоліки в обстеженні, його складності, демонструють низьку інформативну цінність та не можуть конкурувати з новими, більш високотехнологічними методами. Наприклад: комп'ютерна томографічна ангіографія (КТА) має високу роздільну здатність тканин, але при цьому використовується іонізуюче випромінювання та контраст, що унеможливлює його використання у пацієнтів з алергією та нирковою недостатністю [8]. Радіаційне та контрастне навантаження також присутнє при флебографії, що обмежує її використання у клініці, не дивлячись на можливість отримання чітких морфологічних нюансів [9]. Магнітно-

резонансна ангіографія (МРА) є неінвазивним методом, прецизійним, але часто недоступним через значну вартість та довготривалість обстеження [10]. Електрокардіографія та кардіоритмографія оцінюють кардіальну активність, яка тісно пов'язана з гемодинамікою, але водночас не дають прямої інформації про самі судини. Відомо, що плетизмографія оцінює кровонаповнення судин, в цей же час вона втрачає свою точність при набряках, ожирінні та порушеннях периферичної перфузії [11]. За допомогою тетраполярної реографії грудної клітки можна визначити хвилинний об'єм, периферичний опір, тонус судин, але цей метод потребує спеціальних умов та обладнання, має складність в інтерпретації, чутливий до впливу зовнішніх факторів. На противагу цьому ─ метод УЗД серця та порожнистих вен фактично позбавлений недоліків, адже є неінвазивним та безпечним, не несе променевого навантаження, швидкий та доступний для застосування практично в будь-яких умовах, а також має надзвичайну високу точність та надійність [12].

Аналіз останніх публікацій свідчить, що УЗД порожнистих вен у наш час є рутинним елементом обстеження людини при проведенні планової ехокардіографії за певних обставин: професійний огляд, допуск до спортивних тренувань і змагань, проведення судинного скринінгу, оцінка балансу сегментів артеріального та венозного судинного русла, перед- і післяопераційний моніторинг тощо [1, 2, 13-17]. Найчастіше для візуалізації порожнистих вен використовують два типи ультразвукових датчиків: секторні фазовані (phased array) і криволінійні (convex). Перевагою секторних датчиків є те, що вони забезпечують глибоке проникнення ультразвукових хвиль у тканини тіла людини та дозволяють оцінювати VCI навіть при обмеженому акустичному вікні [6]. Вони широко застосовуються у фокусованому ультразвуковому дослідженні серця (FoCUS). Водночас, криволінійні датчики забезпечують ширше поле зору та можуть бути корисними при оцінці судинної анатомії та динаміки кровотоку [7].

Натепер у щоденній клінічній практиці, УЗД серця зазвичай проводиться в положенні людини на спині. VCI зазвичай візуалізується з субксифоідального (субкостального) доступу. У разі, коли даний доступ є ускладненим або недоступним, то як альтернатива використовується правобічний транспечінковий доступ. В обох випадках для правильної оцінки VCI повинна візуалізуватися у повздовжньому перерізі, з обов'язковою візуалізацією вено-атріального з'єднання та правого передсердя. Автори наголошують, що під час обстеження VCI здебільшого вимірюють діаметр вени як під час вдиху, так і під час видиху. Потім, на основі отриманих даних, вираховують індекс спадання VCI, що є важливим індивідуальним показником волемічного статусу людини, а також величини тиску у правому передсерді [1, 7, 13, 15-19]. А у пацієнтів, що знаходяться на штучній вентиляції легень, на основі даних діаметру VCI вираховують індекс розтягування VCI [20].

Слід зазначити, що точку, в якій слід вимірювати діаметр VCI, вважають критично важливою. Для прикладу, Wallace D.J., Allison M. із свівавторами наголошують на тому, що у людини зі спонтанним диханням варіація діаметру VCI менша біля правого передсердя та більша на 2 см каудальніше від місця впадіння печінкової вени або на рівні лівої ниркової вени [4]. Вони підкреслюють, що навіть в однієї і тієї ж людини можна отримати різні значення діаметру VCI. Проте, попри важливість даного аспекту щодо вимірювання діаметру VCI, ця точка не є на сьогодні універсально-стандартизованою, що вказує на необхідність з'ясування цього питання. Більшість авторів все ж припускають, що вимірювання слід проводити в межах 1.5 -2 см від місця впадіння VCI до правого передсердя [7, 14. 16]. Дослідники також звертають увагу на те, що як на діаметр VCI, так і швидкість кровотоку по ній додатково впливає і положення пацієнта під час обстеження. Зокрема, декілька наукових досліджень показали, що у положенні на лівому боці діаметр VCI є суттєво меншим у порівнянні з вимірюванням у положенні людини на спині [21, 22].

З літератури відомо, що двомірне зображення VCS та дослідження кровотоку по ній, проведене за допомогою кольорового та спектрального допплера є достатньо інформативним та можливим з кількох вікон. Зазвичай, використовується надгрудинне вікно, з якого можна

візуалізувати верхній і середній сегменти VCS. Зазначається, що коли вікно доступне, високе ліве парастернальне вікно демонструє середній і нижній сегменти VCS. Субкостальне, верхівкове та ліве парастернальне вікна дозволяють візуалізувати нижній її сегмент у місці впадіння вени в праве передсердя. Проте, слід зазначити, що місце вимірювання діаметру VCS, а також інших показників теж не є універсально стандартизованим. Так, зазвичай за точку вимірювання беруть місце впадіння VCS у праве передсердя, а саме обстеження проводять у положенні лежачи на [2, 6].

Отже, під час огляду наукової літератури, присвяченої морфології та функціям порожнистих вен, стало очевидним, що вивченню особливостей гемодинаміки верхньої порожнистої вени (VCS) авторами приділяється значно менше уваги у порівнянні з дослідженням нижньої порожнистої вени. У відкритому доступі вдалось знайти лише кілька наукових праць по вивченню VCS [20, 23-25]. У зазначених наукових працях автори досліджували діагностичну цінність індексів спадіння та розтягування VCS (cVCS та dVSC) для вибору тактики лікування. Вказані індекси вираховуються на основі абсолютних показників діаметру VCS виміряних в різні фази дихального циклу, аналогічно до відповідних індексів VCI. Вони відображають тісний зв'язок гемодинаміки та дихання, а також дають цінну інформацію про волемічний статус пацієнтів. Так, у кількох дослідженнях виявляли кореляцію CI (кардіального індексу) зі значеннями колапсувального індексу VCS у пацієнтів на механічній вентиляції легень, що відображало позитивну відповідь пацієнтів на терапію рідинами [20,23].

Проте, отримані науковцями дані є доволі суперечливими. В одному з досліджень було встановлено, що cVCS тісно пов'язаний зі значеннями CI [24], а також, що у пацієнтів на механічній вентиляції легень колапсувальний індекс VCS мав кращу точність у передбаченні позитивної відповіді хворих на рідинну ресусцитацію у порівнянні з індексом розтягнення VCI (80% до 43% відповідно) [23].

З іншого боку, автори дослідження, проведеного з метою прогнозування реакції на переднавантаження за допомогою одночасного вимірювання діаметрів нижньої та верхньої порожнистих вен стверджують, що отримані ними результати вказують на слабку кореляцію між CI та cVCS. Вони також висловили сумніви щодо надійності отриманих результатів у гетерогенних групах обстежуваних, оскільки їхні результати відрізнялися від описаних у літературі, а також мали меншу специфічність та чутливість. У зв'язку з цим вони рекомендують застосовувати комплексний підхід у оцінці волемічного статусу пацієнтів [25]. Ще одним цінним припущенням авторів згаданої наукової роботи є те, що вплив дихальної системи на гемодинаміку верхньої порожнистої вени може бути більшим у порівнянні з нижньою порожнистою веною, оскільки діагностична точність cVCS була вищою у порівнянні з dVCI. Точний механізм такої розбіжності потребує подальших досліджень.

Таким чином, проведений аналіз наукової літератури показав, що результати різних авторів мають помітну варіабельність, що відображається в отриманих ними показниках. Це наводить на думку про можливість розбіжності у початкових умовах вимірювання, пов'язаних з відсутністю стандартизованого універсального протоколу дослідження порожнистих вен, що актуалізувало наші подальші пошуки.

Результати дослідження та обговорення. Ми проаналізували доступні нам вітчизняні і іноземні літературні дані і можемо констатувати, що питання анатомії, фізіології та гемодинаміки порожнистих вен вивчались дослідниками у багатьох аспектах [26-34]. Зокрема, достеменно встановлено, що венозна система людини є важливою складовою частиною кровообігу, яка забезпечує повернення венозної крові до серця. Центральне ж місце у цій системі займають верхня та нижня порожнисті вени, які виконують роль основних венозних колекторів великого кола кровообігу циклу [28, 29, 33, 34].

VCS, за даними науковців, є великою безклапанною судиною довжиною 6-8 см, а її діаметр є доволі динамічним та залежить від низки факторів, у тому числі від фази дихального циклу [28]. Функціональна роль VCS полягає у транспортуванні деоксигенованої

крові з верхньої половини тіла до правого передсердя, завершуючи тим самим циркуляцію крові у верхніх ділянках великого кола кровообігу. У свою чергу, VCI, без сумніву, є найбільшою веною людського організму. Її довжина складає приблизно 20-22 см, а діаметр перевищує такий у VCS. Функціонально VCI забезпечує повернення венозної крові до серця з нижньої частини тіла, завершуючи велике коло кровообігу в цій ділянці [29].

Безперечно, що як верхня, так і нижня порожнисті вени відіграють критичну роль у підтриманні безперервного кровотоку та забезпеченні належної циркуляції в організмі. Дані літератури свідчать, що вони характеризуються великою ємністю та відносно тонкими стінками, що дозволяє їм виконувати функцію резервуарів крові та забезпечувати її ефективне транспортування до серця при мінімальному опорі потоку [28]. Фізіологічно основною рушійною силою венозного потоку є градієнт тиску між периферією венозної системи та правим передсердям. Цей градієнт формується внаслідок безперервної роботи серцевого насоса, що створює силу присмоктування внаслідок підтримання сталого низького тиску у правому передсерді (в середньому +2-3 мм.рт.ст.) та збільшується впливом так званої «дихальної помпи» [33].

Наголошуючи на значенні фаз дихального циклу, слід відмітити, що саме під час інспірації виникає негативний тиск у грудній порожнині, який зменшує тиск у порожнистих венах і полегшує притік крові до серця. Одночасно підвищується тиск у черевній порожнині, що сприяє виштовхуванню крові по нижній порожнистій вені [29]. Вчені одноголосні щодо значення ще й інших факторів, які впливають на гемодинаміку порожнистих вен: венозного тонусу та просвіту судин, дії скелетно-м’язевої помпи, впливу положення тіла та гравітації, об’єму циркулюючої крові та її в’язкості [34].

В контексті нашого дослідження ми детально розглянули, як за допомогою методу УЗД вивчають і оцінють гемодинаміку порожнистих вен та виявляють взаємозв’язок кровотоку в них із диханням, враховуючи механізми, фактори впливу та обмеження. Betts підкреслює, що дихальна діяльність суттєво впливає на гемодинаміку порожнистих вен, головним чином, через зміни внутрішньогрудного та внутрішньочеревного тиску протягом дихального циклу [33]. Під час спонтанного вдиху скорочення діафрагми та міжреберних м’язів призводять до розширення грудної порожнини та зниження внутрішньогрудного тиску, створюючи негативний його градієнт, який сприяє венозному поверненню до правого передсердя. Такий перепад тиску покращує пересування крові як з VCS, так і з VCI у праве передсердя.

У літературі наголошується, що зростання венозного повернення під час спонтанного вдиху часто супроводжується тимчасовим спаданням просвіту VCI та збільшенням лінійної швидкості потоку крові у просвіті вени, що легко візуалізується при УЗД. Це спадання можна виразити у вигляді індексу спадання VCI [32]. Воно обумовлене посиленням градієнта тиску між черевною та грудною порожнинами, що сприяє ефективнішому просуванню крові до серця [33]. Навпаки, під час видиху внутрішньогрудний тиск підвищується до базового рівня або стає дещо позитивним, що знижує градієнт тиску та, відповідно, послаблює венозне повернення (швидкість потоку крові у просвіті вени уповільнюється). Як наслідок, під час спонтанного дихання VCI зазвичай виглядає більш розширеною під час видиху через зменшення потоку крові до правого передсердя [1, 7, 13, 15-19]. В умовах штучної вентиляції легень картина зворотня: внаслідок зростання внутрішнього грудного тиску діаметри порожнистих вен зазвичай більші у фазі примусового вдоху, що ініціюється апаратом ШВЛ, а на видосі діаметри VCI та VCS зменшуються [20, 24, 25]. Автори констатують, що ці динамічні зміни діаметра VCI та VCS протягом дихального циклу є цінним неінвазивним маркером оцінки об’єму циркулюючої крові та відповіді на інфузійну терапію, зокрема у критично хворих пацієнтів [1, 2, 13, 17, 23, 24].

Разом із цим, у літературі на сьогодні недостатньо даних, які б демонстрували залежність діаметру порожнистих вен від положення людини у просторі. Ці варіації є важливими, оскільки лежать в основі декількох динамічних показників, таких як індекс розтяжності та спадіння VCI та VCS, що у комплексі з іншими показниками гемодинаміки

використовується для оцінки залежності від переднавантаження та прийняття рішень щодо інфузійної терапії у пацієнтів на вентиляції, а також можуть бути корисними у спортивній фізіології, реабілітаційній практиці, у підготовці водолазів, підводників, льотчиків тощо.

Отже, гемодинаміка порожнистих вен великою мірою залежить від механіки процесу дихання. Спонтанний вдих сприяє венозному поверненню та супроводжується спаданням VCI, тоді як під час видиху вона розширюється. За умов штучної вентиляції ці ефекти мають протилежний характер, що підкреслює важливість вивчення зв'язку між диханням та центральною венозною гемодинамікою для поглиблення понять фундаментальної фізіології, має практичний вихід у медицину в діагностичному та терапевтичному розумінні, а також є важливими для багатьох цивільних і військових професій.

Висновки.

1. Ультразвукове дослідження порожнистих вен (УЗД) є високоефективним, неінвазивним та безпечним методом оцінки центральної гемодинаміки, що активно використовується в сучасній медичній практиці. Його переваги включають доступність, відсутність променевого навантаження, можливість застосування в екстрених ситуаціях та високу інформативність при оцінці об'ємного статусу пацієнтів.
2. Відсутність уніфікованих підходів до методики дослідження (зокрема, вибору точки вимірювання діаметра вени, позиції тіла, фази дихального циклу, типу УЗ-датчика тощо) призводить до значної варіабельності результатів між різними дослідниками та клінічними групами. Це обмежує можливість порівняння даних та ускладнює створення єдиних клінічних протоколів.
3. У літературі велика увага приділяється нижній порожнистій вені (IVC), тоді як гемодинамічні характеристики верхньої порожнистої вени (SVC) залишаються менш вивченими. Водночас, наявні дослідження свідчать про потенційно вищу діагностичну цінність показників SVC, особливо у пацієнтів на механічній вентиляції легень.
4. Індекси спадання та розтягнення порожнистих вен можуть бути корисними у визначенні волемічного статусу та прогнозуванні відповіді на інфузійну терапію, проте їх клінічна ефективність значною мірою залежить від умов вимірювання та гомогенності вибірки пацієнтів.
5. Аналіз літератури засвідчив нагальну потребу в розробці стандартизованого протоколу УЗ-дослідження порожнистих вен, який враховуватиме положення тіла, фазу дихання, тип доступу та точку вимірювання. Такий протокол значно покращить достовірність, відтворюваність та клінічну цінність отриманих результатів.
6. Подальші дослідження мають бути спрямовані на уточнення механізмів взаємодії дихання та венозного повернення, порівняння показників верхньої та нижньої порожнистих вен у різних експериментальніх та клінічних сценаріях, а також створення алгоритмів комплексної оцінки гемодинаміки для використання у теорії та щоденній практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stefano Albani, Luca Mesin, Silvestro Roatta , Antonio De Lucac, Alberto Giannoni, Davide Stolfo, Lorenza Biava, Caterina Bonino, Laura Contu, Elisa Pelloni, Emilio Attent, Vincenzo Russo, Francesco Antonini-Canterin ,Nicola Riccardo Pugliese, Guglielmo Gallone, Gaetano Maria De Ferrari, Gianfranco Sinagra and Paolo Scacciatella (2022). Inferior Vena Cava Edge Tracking Echocardiography: A Promising Tool with Applications in Multiple Clinical Settings. *Diagnostics 2022, 12, 427. URL:https://doi.org/10.3390/diagnostics12020427*
2. Daniel Lichtenstein (2005). 'General ultrasound in the critically ill'. P. 82-86.
3. Blehar DJ, Resop D, Chin B, Dayno M, Gaspari R. Inferior vena cava displacement during respirophasic ultrasound imaging. Crit Ultrasound J. 2012 Aug 6;4(1):18. doi: 10.1186/2036-7902-4-18. PMID: 22866665; PMCID: PMC3463481.
4. Wallace, D.J.; Allison, M.; Stone, M.B. (2010). Inferior Vena Cava Percentage Collapse during Respiration Is Affected by the Sampling Location: An Ultrasound Study in Healthy Volunteers. *Acad. Emerg. Med. 2010, 17, P. 96–99. doi: 10.1111/j.1553-2712.2009.00627.x. Epub 2009 Dec 9. PMID: 20003120.*
5. Caplan M, Durand A, Bortolotti P, Colling D, Goutay J, Duburcq T, Drumez E, Rouze A, Nseir S, Howsam M, Onimus T, Favory R, Preau S. Measurement site of inferior vena cava diameter affects the accuracy with which fluid responsiveness can be predicted in spontaneously breathing patients: a post hoc analysis of two prospective

cohorts. *Ann Intensive Care. 2020 Dec 11;10(1):168. doi: 10.1186/s13613-020-00786-1. PMID: 33306164; PMCID: PMC7732956.*
6. Denault, A.Y.; Langevin, S.; Lessard, M.R.; Courval, J.F.; Desjardins, G. (2018). Transthoracic Echocardiographic Evaluation of the Heart and Great Vessels. *Can. J. Anaesth. 2018, 65, 449–472.*
7. Основи ультразвукового дослідження за методикою POCUS. URL:https://www.pocus101.com/ultrasound-machine-basics-knobology-probes-and-modes/
8. Patel PR, De Jesus O. (2023). CT Scan. *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 33620865.*
9. URL:https://www.radiologyinfo.org/en/info/venography 2025 Radiological Society of North America, Inc. (RSNA).
10. Shaikh Z, Torres A, Takeoka M. (2019). Neuroimaging in Pediatric Epilepsy. *Brain Sci. 2019 Aug 7;9(8):190. doi: 10.3390/brainsci9080190. PMID: 31394851; PMCID: PMC6721420.*
11. Koh WU, Lee DH, Ro YJ, Park HS. (2024). Validity of Pleth Variability Index to Predict Fluid Responsiveness in Patients Undergoing Cervical Spine Surgery in the Modified Prone Position. *Medicina (Kaunas). 2024 Dec 7;60(12):2018. doi: 10.3390/medicina60122018. PMID: 39768898; PMCID: PMC11728039.*
12. URL:https://www.radiologyinfo.org/en/info/genus 2025 Radiological Society of North America, Inc. (RSNA).
13. Furtado S, Reis L. (2019). Inferior vena cava evaluation in fluid therapy decision making in intensive care: practical implications. *Rev Bras Ter Intensiva. 2019 Jun 27;31(2):240-247. doi: 10.5935/0103-507X.20190039. PMID: 31271627; PMCID: PMC6649212.*
14. Tucker WD, Shrestha R, Burns B. (2023). Anatomy, Abdomen and Pelvis: Inferior Vena Cava. *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 29493975.*
15. Kaptein MJ, Kaptein EM. (2021). Inferior Vena Cava Collapsibility Index: Clinical Validation and Application for Assessment of Relative Intravascular Volume. *Adv Chronic Kidney Dis. 2021 May;28(3):218-226. doi: 10.1053/j.ackd.2021.02.003. PMID: 34906306.*
16. Ультразвукове дослідження нижньої порожнистої вени по методиці POCUS. URL:https://www.pocus.org/inferior-vena-cava-ivc-assessment-for-volume-status-in-point-of-care-ultrasound-pocus-setting/
17. Ismail MT, El-Iraky AA, Ibrahim EEA, El Kammash TH, Abou-Zied AE. (2022). Comparison of inferior vena cava collapsibility and central venous pressure in assessing volume status in shocked patients. *Afr J Emerg Med. 2022 Sep;12(3):165-171. doi: 10.1016/j.afjem.2022.04.005. Epub 2022 May 17. PMID: 35599841; PMCID: PMC9120061.*
18. Patil S, Jadhav S, Shetty N, Kharge J, Puttegowda B, Ramalingam R, Cholenahally MN. (2016). Assessment of inferior vena cava diameter by echocardiography in normal Indian population: A prospective observational study. *Indian Heart J. 2016 Dec;68 Suppl 3(Suppl 3):S26-S30. doi: 10.1016/j.ihj.2016.06.009. Epub 2016 Jul 1. PMID: 28038721; PMCID: PMC5198879.*
19. Fathy MM, Wahdan RA, Salah AAA, Elnakera AM. [2023] Inferior vena cava collapsibility index as a predictor of hypotension after induction of general anesthesia in hypertensive patients. *BMC Anesthesiol. 2023 Dec 19;23(1):420. doi: 10.1186/s12871-023-02355-y. PMID: 38114949; PMCID: PMC10729554.*
20. Upadhyay V, Malviya D, Nath SS, Tripathi M, Jha A. (2020). Comparison of Superior Vena Cava and Inferior Vena Cava Diameter Changes by Echocardiography in Predicting Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Patients. *Anesth Essays Res. 2020 Jul-Sep;14(3):441-447. doi: 10.4103/aer.AER_1_21. Epub 2021 Mar 22. PMID: 34092856; PMCID: PMC8159031.*
21. Farouk Mookadam 1, Tahlil A Warsame, Hyun Suk Yang, Usha R Emani, Christopher P Appleton, Serageldin F Raslan (2011). Effect of positional changes on inferior vena cava size. *Eur J Echocardiogr. 2011Apr;12(4):322-5.*
22. Shoichiro Nakao, Patricia C. Come, Raymond G. McKay, Bernard J. Ransil. (1987). Effects of positional changes on inferior vena caval size and dynamics and correlations with right-sided cardiac pressure. *The American Journal of Cardiology, Volume 59, Issue 1,1987, P. 125-132.*
23. Charbonneau H, Riu B, Faron M, Mari A, Kurrek MM, Ruiz J, et al. Predicting preload responsiveness using simultaneous recordings of inferior and superior vena cavae diameters. *Crit Care 2014;18(5):473*
24. Vieillard‐Baron A, Chergui K, Rabiller A, Peyrouset O, Page B,Beauchet A, et al. Superior vena caval collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. *Intensive Care Med 2004; 30(9):1734‐9.*
25. Vignon P, Repessé X, Bégot E, Léger J, Jacob C, Bouferrache K,et al. Comparison of Echocardiographic Indices Used to Predict Fluid Responsiveness in Ventilated Patients. *Am J Respir Crit Care Med 195(8): P.1022-1032.*
26. Li SJ, Lee J, Hall J, Sutherland TR. (2021). The inferior vena cava: anatomical variants and acquired pathologies. *Insights Imaging. 2021 Aug 30;12(1):123. doi: 10.1186/s13244-021-01066-7. PMID: 34460015; PMCID: PMC8405820.*
27. Spentzouris G, Zandian A, Cesmebasi A, Kinsella CR, Muhleman M, Mirzayan N, Shirak M, Tubbs RS, Shaffer K, Loukas M. (2014). The clinical anatomy of the inferior vena cava: a review of common congenital anomalies and considerations for clinicians. *Clin Anat. 2014 Nov;27(8):1234-43. doi: 10.1002/ca.22445. Epub 2014 Jul 17. PMID: 25042045.*
28. Неттер Ф. (2004). Атлас анатомії людини [Цегельский А.А.]. *Львів: Наутілус. с. 592. ISBN 966-95745-8-7.*

29. Benjamin Cummings. 2006. Human Anatomy & Physiology *(Edt. 7th). P. 744-750, 758-764.*
30. Hashizume, H.; Ushiki, T.; Abe, K. (1995). A histological study of the cardiac muscle of the human superior and inferior venae cavae. *Archives of Histology and Cytology. 58 (4):P. 457–464.*
31. Sonavane SK, Milner DM, Singh SP, Abdel Aal AK, Shahir KS, Chaturvedi A. (2015). Comprehensive Imaging Review of the Superior Vena Cava. Radiographics. *2015 Nov-Dec;35(7):1873-92. doi: 10.1148/rg.2015150056. Epub 2015 Oct 9. PMID: 26452112.*
32. Policastro P, Mesin L. (2023) Processing Ultrasound Scans of the Inferior Vena Cava: Techniques and Applications. *Bioengineering (Basel). 2023 Sep 12;10(9):1076. doi: 10.3390/bioengineering10091076. PMID: 37760178; PMCID: PMC10525913.*
33. Betts, J Gordon; Desaix, Peter; Johnson, Eddie; Johnson, Jody E; Korol, Oksana; Kruse, Dean; Poe, Brandon; Wise, James; Womble, Mark D; Young, Kelly (2023). Anatomy & Physiology. *P. 809-893.*
34. Шевчук В.Г. (2002). Фізіологія. 2-ге видання. Ст. 304-306, 312-318.

Kozak V., Yukhymenko L.

The Current State of Studying Hemodynamics of Human Cavernous Veins in Different Phases of the Respiratory Cycle

Introduction and Objective*. This article presents the results of a theoretical analysis of scientific literature concerning the hemodynamics of the human vena cava during different phases of the respiratory cycle, with a particular focus on the ultrasound method. Since the formulation of the Frank-Starling law and the recognition of the central role of venous return in cardiovascular physiology, researchers in various fields—including biology, physiology, and medicine—have sought effective methods to study central venous hemodynamics and the factors influencing it. Over time, and with the development of new technologies, several diagnostic tools have been introduced, including tetrapolar thoracic rheography, phlebography, plethysmography, computed tomography, magnetic resonance imaging, and pulmonary artery catheterization. Each has contributed significantly to the field, although many are limited by their invasiveness, cost, or complexity.*

In contrast, ultrasound imaging of the heart and great vessels has emerged as a non-invasive, safe, rapid, relatively accurate, and cost-effective method for evaluating cardiovascular status. Due to these advantages, the aim of this study was to analyze and summarize the current scientific knowledge on the use of ultrasound for assessing the inferior and superior vena cava, and to investigate the relationship between venous hemodynamic parameters and phases of the respiratory cycle.

Materials and Methods. *This study employed theoretical analysis, systematization, and generalization of modern scientific and methodological literature.*

Key Findings*. Ultrasound evaluation of the vena cava is a highly effective, non-invasive, and safe method for assessing central hemodynamics. It is increasingly used in clinical practice due to its availability, lack of radiation exposure, applicability in emergency settings, and high diagnostic value for evaluating a patient's fluid status. The review of literature highlights an urgent need for the development of a standardized ultrasound protocol for vena cava assessment, taking into account body position, respiratory phase, imaging window, and measurement site. A unified approach would significantly enhance the reliability, reproducibility, and clinical relevance of results. Future studies should aim to further clarify the physiological mechanisms linking respiration and venous return, compare the diagnostic potential of superior and inferior vena cava parameters in various clinical scenarios, and develop integrated assessment algorithms for routine use.*

Keywords*.vena cava; ultrasound diagnostics; venous hemodynamics; ultrasound examination; collapsibility/distensibility index; respiratory cycle; central venous pressure.*

Надійшла до редакції / Received: 8.04.2025
Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025