

ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: 10.21802/artm.2025.2.34.6

УДК (620.17+616.14):616.147.3-007.64

**БІОМЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВАРИКОЗНО ЗМІНЕНИХ
ПРИТОК САФЕНОВИХ ВЕН**

О.Ю. Атаманюк, В.А. Царук

*Івано-Франківський національний медичний університет, кафедра хірургії післядипломної освіти та урології, м. Івано-Франківськ, Україна**ORCID ID: 0000-0002-6400-6896, Scopus ID: 58503151400, e-mail: atamanyuk.oleg5@gmail.com**ORCID ID: 0009-0005-6967-6820, e-mail: tsaruk8883@ukr.net*

Резюме. Метою дослідження було покращити діагностику патологічних змін приток сафенових вен у пацієнтів із варикозною хворобою нижніх кінцівок шляхом дослідження їх біомеханічних властивостей. Для реалізації поставленої мети обстежено 76 пацієнтів із варикозною хворобою нижніх кінцівок клінічного класу С2 за класифікацією СЕАР. Разом зі стандартизованим передопераційним ультразвуковим картуванням прицільно вимірювали діаметр й товщину стінки приток сафенових вен нижніх кінцівок та фіксували наявність у них рефлюксу. Після проведеної мініфлебектомії біомеханічні властивості міцності венозної стінки оцінювали на спеціально сконструйованому пристрої шляхом уніаксіального тесту на розрив. Середній діаметр приток становив $4,81 \pm 1,5$ мм, товщина стінки – $0,24 \pm 0,1$ мм, а середня міцність – $5,63 \pm 3,31$ Н. У 16 пацієнтів (21,1 %) досліджено вени, видалені із зовнішньої поверхні стегна, та у такої ж кількості – із зовнішньої поверхні гомілки, у 20 хворих (26,3 %) досліджено вени із внутрішньої поверхні стегна та у 24 осіб (31,6 %) – із внутрішньої поверхні гомілки. Встановлено сильний прямий кореляційний зв'язок між товщиною стінки досліджуваних вен і її міцністю ($r = 0,76$) та помірний зв'язок між діаметром і міцністю ($r = 0,48$). Виявлено статистично значущу різницю показників міцності залежно від анатомічної локалізації вен: найвищі параметри міцності зафіксовано у венах медіальної поверхні гомілки ($8,63 \pm 4,06$ Н) та стегна ($6,64 \pm 1,56$ Н), найнижчі у венах латеральної поверхні гомілки ($4,11 \pm 1,53$ Н) та стегна ($2,65 \pm 0,69$ Н) ($p = 0,0021$). Отримані результати підтверджують можливість використання ультразвукових параметрів (товщина та діаметр) як неінвазивні критерії оцінки міцності венозної стінки приток сафенових вен. Результати дослідження підкреслюють необхідність оцінки морфофункціонального стану приток поряд з основними сафеновими венами для персоналізації підходів до лікування пацієнтів із варикозною хворобою нижніх кінцівок.

Ключові слова: варикозна хвороба, притоки сафенових вен, біомеханічні властивості, динамометрія.

Вступ. Варикозна хвороба нижніх кінцівок (ВХНК) є одним із найпоширеніших захворювань, що вражає мільйони людей у всьому світі [1]. Зміна венозної гемодинаміки запускає каскад патогенетичних процесів, що приводять до структурних та функціональних змін стінки вен нижніх кінцівок, які проявляються широким спектром клінічних симптомів. Варикозна трансформація венозної системи нижніх кінцівок є джерелом дискомфорту, болю, набряку, тромбозу, кровотечі та виразок, що призводить до негативного впливу на фізичні, психологічні та соціальні компоненти якості життя аж до втрати працездатності та розвитку інвалідності [2].

Біомеханіка стінки вени насамперед визначається поведінкою колагену й еластину та активністю гладком'язових клітин. Еластичні волокна забезпечують пружність вени при зниженні тиску, тоді як колаген виявляє високу міцність при навантаженні. У пацієнтів з ВХНК змінюється склад волокон позаклітинного матриксу: знижений вміст колагену III типу заміщується патологічним колагеном типу I, а еластинові волокна різко зменшуються та стають фрагментованими й дезорганізованими, що зменшує здатність вени розтягуватися під тиском [3].

Для вивчення біомеханічних властивостей венозної стінки використовують низку методів, серед яких уніаксіальне та біаксіальне дослідження на

розтягнення, трубчасті інфляційні тести та мультирівневе моделювання структури стінки вени із врахуванням взаємодії колагенових і еластичних волокон. Уніаксіальні тести проводяться шляхом поступового осьового розтягнення зразків вени до виникнення розриву, що дає змогу визначити міцність, граничну напругу та деформацію. Водночас при трубчастому інфляційному тесті відрізок вени закріплюють у камерній системі, подають внутрішній тиск і будують криву «тиск-діаметр». Комбінація цих методів дозволяє відтворити біомеханічну поведінку як здорової, так і варикозно зміненої вени [4]. Однак, основну увагу в більшості досліджень приділено стовбуру великої або малої підшкірної вени, тимчасом як варикозно змінені притоки сафенових вен залишаються не достатньо вивченими.

Мета дослідження – покращити діагностику патологічних змін приток сафенових вен у пацієнтів із варикозною хворобою нижніх кінцівок шляхом дослідження їх біомеханічних властивостей.

Об'єкт і методи дослідження. Для реалізації поставленої мети на клінічній базі кафедри хірургії післядипломної освіти та урології – ТОВ «Медичний центр «Доктор Царук»», упродовж 2024 року проведено дослідження варикозно змінених венозних сегментів приток сафенових вен у 76 пацієнтів із ВХНК клінічного класу С2 відповідно до класифікації СЕАР

[5]. Перед операцією проводили ультразвукове сканування веннозної системи нижніх кінцівок на апараті Versana Active (GE Healthcare, США). Поруч зі стандартизованим передопераційним картуванням прицільно вимірювали діаметр і товщину стінки приток сафенових вен та фіксували наявність у них рефлюксу. Ми висунули гіпотезу, що міцність веннозної стінки відрізняється залежно від локалізації приток сафенових вен на нижній кінцівці, для підтвердження чи

спростування якої вирішили розподілити нижню кінцівку на умовні чотири ділянки, зокрема зовнішню та внутрішню поверхню стегна та гомілки. Варикозно змінені сегменти вен видаляли за допомогою мініфлебектомії. Оцінку міцності вен проводили за допомогою унікального тесту на попередньо розробленому обладнанні – “Пристрій для вимірювання міцності вен”, патент на корисну модель №158812 [6], (рис. 1).

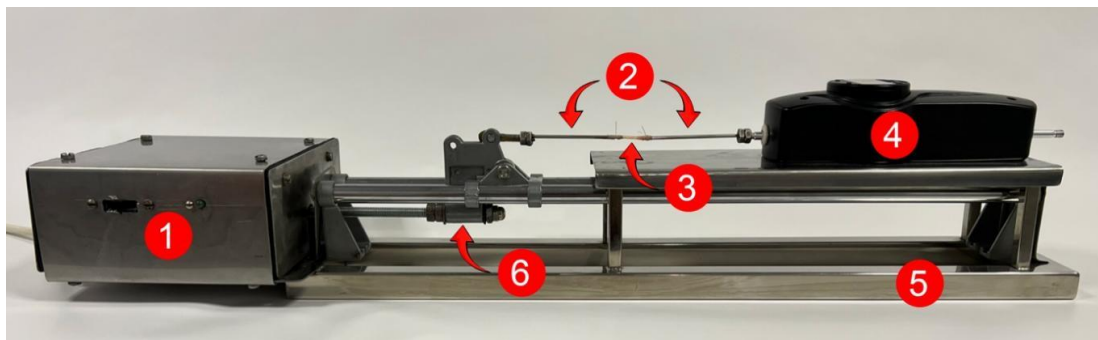


Рис. 1. Пристрій для вимірювання міцності вен, де 1 - привід з редуктором, 2 - знімні держаків, 3 - досліджувані сегмент вени, 4 - цифровий динамометр, 5 - каркас на основі рамної конструкції, 6 – каретка

Для випробування цілісних трубчастих зразків вен різного діаметра розроблено попарний набір знімних держаків у вигляді стрижнів циліндричної форми діаметром від 1,5 мм до 5,5 мм (рис. 2).



Рис. 2. Набір знімних держаків

Після оперативного втручання видалені варикозно змінені сегменти приток сафенових вен поміщали в посудину з 0,9 % розчином NaCl та проводили дослідження біомеханічних властивостей міцності веннозної стінки впродовж 2 годин, щоб мінімізувати вплив часу на тканини, що минув. Відповідно до діаметра вени з наявного набору обирали держак, який встановлювали у просвіт досліджуваної вени та фіксували з обох сторін у місця звуження за допомогою капронової лігатури USP 0, що забезпечує рівномірний та фізіологічний натяг судини у процесі роботи пристрою. Принцип роботи пристрою наступний: електродвигун запускає привід,

який приводить в рух робочий орган каретки з держаком, на якому закріплений один кінець вени, що рухається в протилежну сторону від другого держака, закріпленого на динамометрі. Відбувається розтяг зразка та повздовжня деформація судинної стінки. Плавність переміщення каретки за допомогою електродвигуна зі швидкістю 2 мм/с забезпечує уніфікованість вимірювання показників міцності цілісних зразків вен, максимальне значення яких фіксується автоматично в момент її розриву в ньютонках (Н).

Статистичний аналіз отриманого матеріалу обробляли у програмному пакеті StatPlus (AnalystSoft, USA, 2021), ліцензія №2-2405609903. Дані наведені як середнє арифметичне та стандартне відхилення ($M \pm m$), абсолютне значення та відсоток (n (%)). Для встановлення залежностей використовували кореляційний аналіз, однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA), парний t-тест. Статистично значущим рівнем вірогідності вважали $p < 0,05$.

Результати дослідження та їх обговорення. Відповідно до результатів ультразвукового обстеження в усіх досліджуваних сегментах варикозно змінених приток сафенових вен діагностовано патологічний рефлюкс крові, середній діаметр вен склав $4,81 \pm 1,5$ мм, а товщина стінки – $0,24 \pm 0,1$ мм. У 16 пацієнтів (21,1 %) досліджено вени, видалені із зовнішньої поверхні стегна, та у такої ж кількості – із зовнішньої поверхні гомілки, у 20 хворих (26,3 %) досліджено вени із внутрішньої поверхні стегна та у 24 осіб (31,6 %) – із внутрішньої поверхні гомілки. Середня міцність досліджуваних вен склала $5,63 \pm 3,31$ Н.

Проведений кореляційний аналіз отриманих результатів продемонстрував сильний прямий кореляційний зв'язок ($r = 0,76$, $p = 0,01$) між товщиною стінки вени та показниками міцності, які були виміряні під час дослідження (рис. 3).

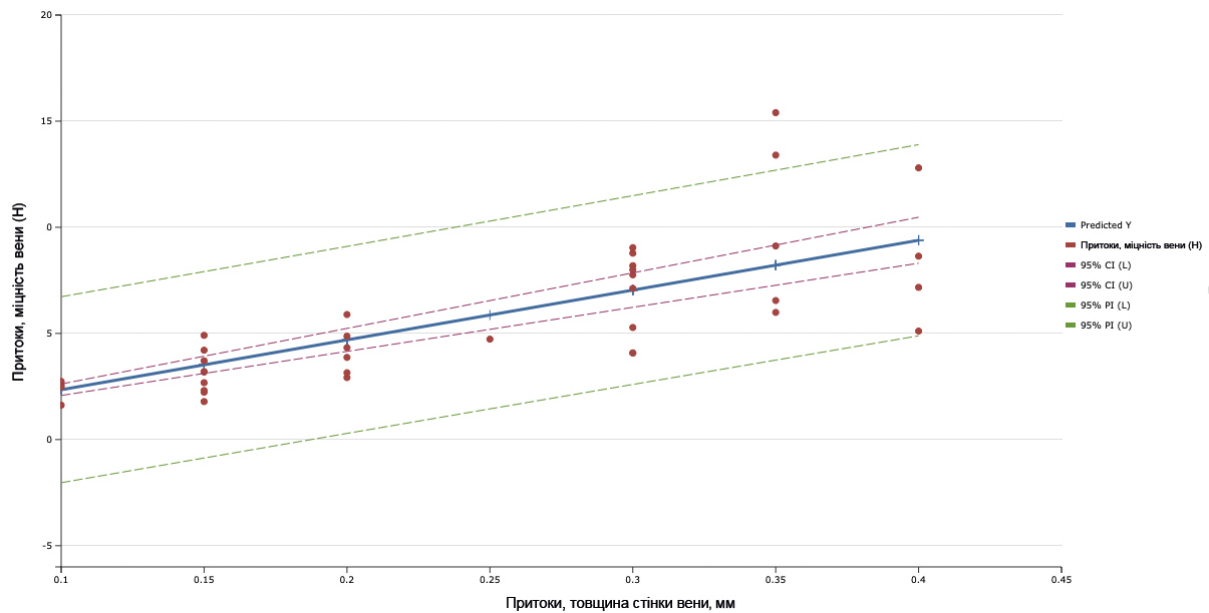


Рис. 3. Діаграма лінійної регресії міцності вени і товщини стінки

Між показниками діаметра та параметрами міцності досліджуваної венозної стінки спостерігається прямий, помірний, статистично вірогідний кореляційний зв'язок ($r = 0,48$, $p = 0,002$). Враховуючи отримані дані, ультразвукове обстеження стінки та діаметра варикозно змінених приток сафенових вен може слугувати неінвазивним інструментом оцінки міцності венозної стінки. Важливість ультразвукової діагностики підкреслюють і сучасні настанови, адже обстеження власне приток сафенових вен має важливе значення, оскільки навіть за умови збереження функції остіальних клапанів може спостерігатись ізольований рефлюкс у притоках, який погіршує перебіг захворювання та сприяє прогресуванню трофічних змін шкіри [7]. Проте ультразвукові критерії, на відміну від проведеного дослідження, обмежуються виключно констатацією факту рефлюксу та його поширеністю без рекомендацій щодо використання таких параметрів як товщина стінки чи діаметр вени.

Аналіз результатів міцності венозної стінки залежно від анатомічної локалізації показав, що вени з найміцнішою венозною стінкою локалізовані на медіальній поверхні гомілки, показник міцності яких склав $8,63 \pm 4,06$ Н. Варикозно змінені притоки сафенових вен, локалізовані на стегні, також указують на достатній показник міцності – $6,64 \pm 1,56$ Н. Вени, локалізовані на латеральній поверхні гомілки ($4,11 \pm 1,53$ Н) та стегна ($2,65 \pm 0,69$ Н), демонструють найменші біомеханічні властивості міцності. Проведений однофакторний дисперсійний аналіз міцності стінки вени в різних анатомічних ділянках підтвердили статистично вірогідні відмінності між досліджуваними зонами (ANOVA, $p=0,0021$). Парний аналіз довів, що показники міцності венозної стінки внутрішньої поверхні гомілки та стегна статистично вірогідно ($p < 0,05$) перевищують показники міцності вен, отриманих із

зовнішньої поверхні гомілки та стегна. Водночас різниця у міцності вен між зовнішньою поверхнею гомілки та стегна не досягла статистичної значущості (рис 4).

Отримані результати підтверджують гіпотезу про різницю міцності вени залежно від локалізації. Саме такий поділ нижньої кінцівки на ділянки дослідження, який нами запропонований, базувався на попередньо отриманому клінічному досвіді: під час проведення мініфлебектомії міцність венозної стінки суб'єктивно відрізнялась на латеральній та медіальних поверхнях нижньої кінцівки, що і стало підставою саме для такого поділу на досліджувані зони. Хоча у дослідженні Bezerra de Souza Fonseca зі співавторами, який вивчав різні підходи до тактики лікування варикозно змінених приток сафенових вен, ділили нижню кінцівку також на 4 зони, проте це була передня і задня поверхні гомілки та стегна [8]. Однак у роботі не вказано, чому обрано саме такий поділ та як саме відрізняється тактика лікування залежно від анатомічної локалізації патологічно зміненої вени.

Зміна пропорції гладком'язових клітин, колагену та еластину у стінці варикозно розширених вен приводить до помітних відмінностей міцності венозної стінки у порівнянні зі здоровими венами при проведенні біомеханічних досліджень [9]. Здорова велика підшкірна вена значно міцніша за варикозно змінену, оскільки модуль пружності та максимальне напруження здорової вени на $82,21\%$ та $664,32\%$ вищі, ніж у варикозній вени. У дослідженнях Karimі було доведено, що здорова підшкірна вена має модуль пружності та максимальне напруження $4,99$ та $10,714$ МПа, а варикозно змінена вена продемонструвала значно нижчу міцність [10].

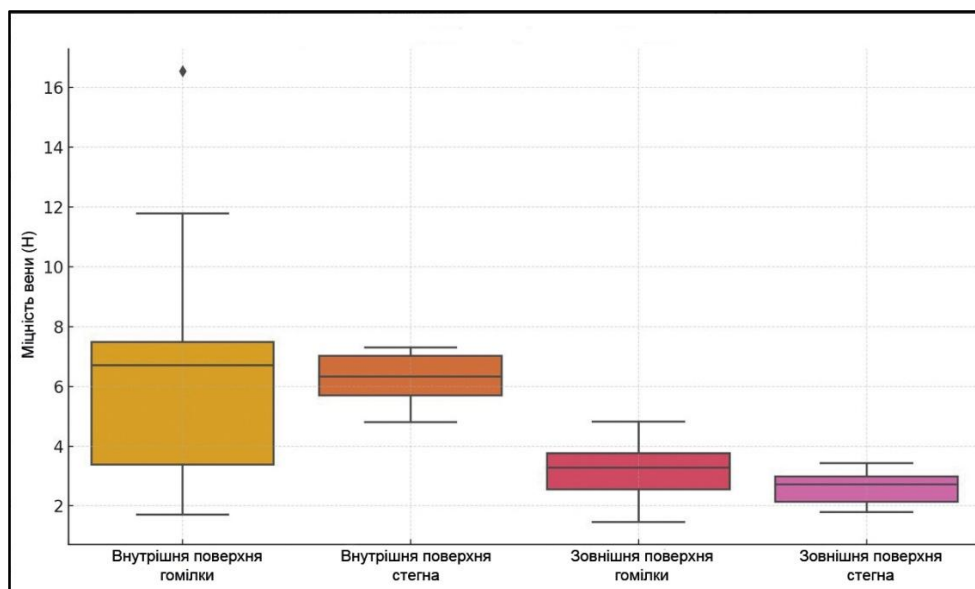


Рис. 4. Боксплот діаграма розподілу міцності вени у різних анатомічних зонах нижньої кінцівки

Однак увага більшості досліджень присвячена вивченню пружних властивостей великої підшкірної вени, а інформації щодо варикозно змінених приток немає. А власне дослідження біомеханічних властивостей приток важливе в контексті не тільки розуміння гемодинамічних чи структурних змін вени, а й обрання оптимальної тактики лікування.

Міжнародні керівні настанови беззаперечно стверджують ефективність ендовенозних термальних методів у лікуванні стовбурного рефлюксу у пацієнтів із ВХНК [7, 11]. Проте, неоднозначною є позиція щодо тактики та вибору оптимального методу лікування варикозних приток сафенових вен: одномоментне лікування разом із ліквідацією стовбурового рефлюксу чи відтерміноване лікування, мініфлебектомія чи склеротерапія [12]. Власне розуміння показників міцності приток сафенових вен може стати одним із ключів до вирішення цього запитання.

Висновки:

1. Отримані результати кореляційного аналізу ультразвукових параметрів та показників міцності варикозно змінених приток сафенових вен підтверджують можливість використання сонографічних параметрів товщини венозної стінки та діаметра як неінвазивні критерії діагностики міцності венозної стінки.

2. Показники міцності венозної стінки внутрішньої поверхні гомілки та стегна статистично вірогідно ($p < 0,05$) перевищують показники міцності вен, отриманих із зовнішньої поверхні обох зон, що може бути визначальним критерієм у виборі оптимального методу лікування.

Конфлікт інтересів: відсутній

References:

- Baylis RA, Smith NL, Klarin D, Fukaya E. Epidemiology and Genetics of Venous Thromboembolism and Chronic Venous Disease. *Circ Res.* 2021 Jun 11;128(12):1988-2002. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.121.318322.
- Branisteanu DE, Feodor T, Baila S, Mitea IA, Vittos O. Impact of chronic venous disease on quality of life:

Results of vein alarm study. *Exp Ther Med.* 2019 Feb;17(2):1091-1096. doi: 10.3892/etm.2018.7054.

- Vekilov DP, Grande-Allen KJ. Mechanical Properties of Diseased Veins. *Methodist Debakey Cardiovasc J.* 2018 Jul-Sep;14(3):182-187. doi: 10.14797/mdcj-14-3-182.
- Li W. Biomechanical property and modelling of venous wall. *Progress in Biophysics and Molecular Biology.* 2018; 133:56-75. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2017.11.004.
- Lurie F, Passman M, Meisner M, Dalsing M, Masuda E, Welch H, Bush RL et al. CEAP classification system and reporting standard, revision 2020. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders.* 2020 May; 8(3):342-352. doi: 10.1016/j.jvsv.2019.12.075.
- Atamaniuk OYu, Tsaruk VA, vynakhidnyky; Atamaniuk OYu, Tsaruk VA, vlasnyky patent. *Prystrii dlia vymiruvannia mitsnosti ven.* Patent na korysnu model № UA158812U. 2025 бер. 19.
- De Maeseneer MG, Kakkos SK, Aherne T, Baekgaard N, Black S, Blomgren L, et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2022 Clinical Practice Guidelines on the Management of Chronic Venous Disease of the Lower Limbs. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2022; 63:184-267. doi: 10.1016/j.ejvs.2021.12.024.
- Bezerra de Souza Fonseca FL, Lins EM, Albuquerque Godoi ET, Guedes HJ, Xavier de Mendoza AJ, Serrano de Oliveira CB. Morphofunctional evaluation of great saphenous vein's tributaries after thermoablation: A case series. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2025 Jan;13(1):101986. doi: 10.1016/j.jvsv.2024.101986.
- Mingorance JD, Scionti G, Izquierdo MR, Morata AR, Febres LM. Histological analysis of the wall of a healthy and varicose vein and their correlation with their biomechanical properties *Actual. Med.* 2014; 99: (791):22-26 doi: 10.15568/am.2014.791.or05.
- Karimi, A., Navidbakhsh, M., & Kudo, S. (2015). A comparative study on the mechanical properties of the healthy and varicose human saphenous vein under uni-axial loading. *Journal of Medical Engineering &*

- Technology, 39(8), 490–497. <https://doi.org/10.3109/03091902.2015.1086030>.
11. Głowiczki P, Lawrence PF, Wasan SM, Meissner MH, Almeida J, Brown KR, et al. The 2023 Society for Vascular Surgery, American Venous Forum, and American Vein and Lymphatic Society clinical practice guidelines for the management of varicose veins of the lower extremities. Part II: Endorsed by the Society of Interventional Radiology and the Society for Vascular Medicine. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2024;Jan;12(1):101670. doi: 10.1016/j.jvsv.2023.08.011.
 12. Aherne T.M., Ryan É.J., Boland M.R., et al. Concomitant vs. Staged treatment of varicose tributaries as an adjunct to endovenous ablation: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2020; 60:430–442. doi: 10.1016/j.ejvs.2020.05.028.

UDC (620.17+616.14):616.147.3-007.64

BIOMECHANICAL PROPERTIES OF VARICOSE TRIBUTARIES

O.Yu. Atamaniuk, V.A. Tsaruk

*Ivano-Frankivsk National Medical University,
Department of Surgery of Postgraduate Education and
Urology, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-6400-6896,
Scopus ID: 58503151400,
e-mail: atamanyuk.oleg5@gmail.com;
ORCID ID: 0009-0005-6967-6820,
e-mail: tsaruk8883@ukr.net*

Abstract. In patients with varicose vein disease, altered venous hemodynamics initiates a cascade of pathophysiological processes that result in structural and functional remodeling of the venous wall. These biomechanical alterations are primarily governed by the dynamics of collagen and elastin fibers, as well as the activity of smooth muscle cells. Common investigative methods include uniaxial and biaxial tensile testing, tubular inflation assays, and multilevel structural modeling of the venous wall that accounts for collagen–elastin interactions. However, most studies have focused on the great or small saphenous vein trunk, while varicose tributaries remain insufficiently characterized. Objective: to evaluate the biomechanical properties of varicose tributaries in patients with CEAP clinical class C2 lower-extremity varicose vein

disease. From January to December 2024, 76 patients with CEAP C2 varicose vein disease underwent standardized preoperative duplex mapping of the lower extremity. Tributaries of the great and small saphenous veins were measured for diameter and wall thickness, and the presence of reflux was documented. Each extremity was divided into four regions—lateral and medial thigh, lateral and medial calf—for targeted sampling. This anatomical division was essential to test our hypothesis that the tensile strength of the venous wall varies depending on the localization of varicose tributaries in the lower extremity. Following mini-phlebectomy, excised vein segments were subjected within two hours to uniaxial tensile testing on a custom device to minimize the impact of time on tissue integrity. Maximum wall strength (rupture force) was recorded automatically in newtons (N). The study produced the following results: the mean diameter of sampled varicose tributaries was 4.81 ± 1.50 mm, mean wall thickness was 0.24 ± 0.10 mm, and mean tensile strength was 5.63 ± 3.31 N. Spatial distribution of samples was as follows: 16 (21.1 %) from the lateral thigh, 16 (21.1 %) from the lateral calf, 20 (26.3 %) from the medial thigh, and 24 (31.6 %) from the medial calf. Wall thickness vein correlated strongly with tensile strength ($r = 0.76$, $p = 0.01$), while diameter showed a moderate correlation ($r = 0.48$, $p = 0.002$). Tensile strength varied significantly by anatomical location ($p = 0.0021$): medial calf tributaries exhibited the highest strength (8.63 ± 4.06 N), followed by medial thigh tributaries (6.64 ± 1.56 N). The lowest tensile strength values were observed in lateral calf tributaries (4.11 ± 1.53 N) and lateral thigh tributaries (2.65 ± 0.69 N). The paired analysis demonstrated that the venous wall strength measurements from the inner surface of the calf and thigh were statistically significantly higher ($p > 0.05$) than those from the outer surface of the calf and thigh. At the same time, the difference in venous strength between the outer calf and thigh surfaces did not reach statistical significance. Ultrasound-derived measurements of wall thickness and diameter may serve as noninvasive predictors of vein wall tensile strength in varicose tributaries. These findings underscore the importance of assessing the morphofunctional state of tributaries alongside the main trunks to personalize treatment strategies in lower-extremity varicose vein disease.

Keywords: varicose vein disease, varicose tributaries, biomechanical properties, dynamometry.

Conflict of interest: absent.

Стаття надійшла в редакцію 03.05.2025 р.
Стаття прийнята до друку 24.06.2025 р.