

MORPHOLOGICAL METHODS FOR THE STUDY OF THE HUMAN CORONARY VENOUS SINUS

¹Municipal Enterprise "Poltava Regional Clinical Medical Cardiovascular Center of the Poltava Regional Council" (Ukraine, Poltava)

²Poltava State Medical University (Ukraine, Poltava)

0509539343@ukr.net

The coronary venous sinus is the main venous collector of the heart, providing outflow from most of the myocardium and participating in the formation of the anatomical and functional microenvironment of the posterior atrioventricular region. Despite the significant interest in this anatomical formation in cardiac surgery, electrophysiology and interventional cardiology, systematized data on its macro- and micromorphology, segmental variability of the wall structure and morphometric approaches to assessment remain fragmentary. The aim of the study is to substantiate and systematize modern morphological approaches to the study of the human coronary venous sinus based on the analysis of data from macroanatomical, histological and morphometric studies, as well as to determine the methodological principles of standardized assessment of the structure of its wall on histological preparations. Descriptive, comparative and structural-logical generalization methods were used. Data on the macrotopography of the coronary sinus, its tributaries, the area of the ostium and the valve of Thebesian, the histological organization of the wall (intima, media, adventitia), the component composition and segmental features of the proximal, middle, distal sections and the ostium zone are summarized. A list of morphometric parameters relevant for preparations stained with hematoxylin-eosin, according to Van Gieson and immunohistochemical methods is systematized. Principles of anatomical and histological standardization of material selection are proposed to increase the reproducibility of results. The morphology of the coronary sinus is characterized by pronounced segmental variability, which requires a separate analysis of the trunk sections and the ostium zone. The most suitable reference area for a standardized morphometric study is the middle part of the trunk of the coronary sinus. The integrated use of routine, special, and immunohistochemical methods provides a complete assessment of the structural components of its wall and is important for morphology, cardiology, and interventional practice.

Key words: coronary sinus, morphology, histological features, morphometry, heart, individual features, venous system, hemomicrocirculatory bed, immunohistochemical markers.

Connection of the publication with planned research work.

The article is a fragment of the research work of the Department of Anatomy with Clinical Anatomy and Operative Surgery of Poltava State Medical University "Regularities of morphogenesis of organs, tissues and vascular-neuroformations in normal, pathological and under the influence of exogenous factors", state registration number 0118U004457.

Introduction.

The coronary venous sinus is the largest venous collector of the heart, which collects blood from most of the myocardial veins and opens into the right atrium. Its topography in the posterior part of the coronary sulcus, its proximity to the atrioventricular node, the tricuspid valve annulus, and left atrial structures determine not only its anatomical significance, but also its significant clinical significance. It is through the coronary sinus that a number of interventional procedures are performed: catheterization with catheters for electrophysiological studies, positioning of electrodes in cardiac resynchronization therapy, individual stages of ablation procedures and retrograde manipulations in cardiac surgery [1-5].

Despite the widespread clinical use of coronary sinus access, its morphological description in many sources is limited to general anatomical characteristics. At the same time, for the morphologist, cardiac surgeon and interventional cardiologist, the variants of the shape and

caliber of the coronary sinus, the features of its tributaries, the structure of the ostium and the Thebesian valve, as well as the segmental variability of the wall are of fundamental importance. Underestimation of these aspects can complicate the interpretation of imaging data, the macro- and microscopic identification of material sampling sites, and the comparison of results across different studies [6-9].

In morphological works of recent years, more and more attention is paid not only to the qualitative characteristics of the coronary sinus, but also to the quantitative assessment of its structural components. However, data comparison is complicated by the different anatomical localization of the samples, different inclusion criteria for the preparations, the lack of a unified approach to segmentation of the sinus into proximal, middle and distal parts and comparison of the trunk with the ostium area. This highlights the need for a standardized approach to performing morphometric analysis of the coronary venous sinus [10-13].

Of particular interest is the histological structure of the coronary sinus wall as a venous structure that functions under specific hemodynamic conditions and direct contact with epicardial tissues. The ratio of intima, media, and adventitia, the content of collagen and elastic fibers, the severity of the smooth muscle component, the presence of vasa vasorum, and cellular infiltrate may vary depending on the segment, age, concomitant car-

divascular pathology, and research methodology [14-18].

Thus, a systematic presentation of the morphology of the human coronary venous sinus from an anatomical, histological, and morphometric perspective is necessary for both fundamental research and clinical practice. A summary of the available information with an emphasis on standardization of material selection and selection of morphometric indicators can increase the reproducibility of results in further studies.

The aim of the study.

To substantiate and systematize modern morphological approaches to the study of the human coronary venous sinus based on the analysis of data from macroanatomical, histological and morphometric studies, as well as to determine the methodological principles of standardized assessment of the structure of its wall on histological preparations.

Object and research methods.

The study is of a review-analytical nature and is aimed at generalizing and methodically systematizing approaches to the morphological study of the human coronary sinus. The object of the analysis was scientific publications, anatomical and histological atlases, clinical and anatomical studies, as well as the results of morphological and morphometric works devoted to the anatomy and histological structure of the coronary venous sinus.

The analysis included sources containing information on the topographic anatomy, variant structure, histological organization of the wall and morphometric parameters of the coronary sinus, as well as publications describing methodological approaches to its morphological study and clinical and applied aspects related to catheterization and visualization of this structure.

The search and selection of sources was carried out according to thematic areas, taking into account the presence of a clearly defined anatomical localization of the studied segments of the coronary sinus, a description of morphometric methods or data suitable for their morphological interpretation.

The work used a descriptive method to systematize macro- and micromorphological characteristics, a comparative method to compare segmental and variant features of the structure of the coronary sinus, as well as a structural-logical approach to form a coordinated scheme for standardized selection of histological material and determination of priority morphometric indicators. Formal meta-analytic procedures were not carried out due to the methodological heterogeneity of the analyzed sources.

Research results and their discussion.

The coronary sinus is located in the posterior part of the coronary sulcus (sulcus coronarius) between the left atrium and the left ventricle, passing to the right to the area of confluence into the right atrium. Its position in the posterior atrioventricular area determines close topographic relationships with the left atrium, the mitral valve annulus, the right atrium, the interatrial septum and elements of the cardiac conduction system [2, 4, 6, 19].

Traditionally, the coronary sinus is described as a continuation of the great cardiac vein, although the border between them is conditional and in some works is determined by the place of confluence of the oblique vein of the left atrium or other anatomical landmarks.

The most common tributaries of the coronary sinus are the great, middle and small cardiac veins, the posterior vein of the left ventricle, the oblique vein of the left atrium; at the same time, the set of tributaries, their diameter and angle of incidence vary [5, 7, 20, 21].

Clinically, these options are important for catheter and electrode placement, especially during cannulation of the coronary sinus orifice and advancement into its tributaries. For the morphologist, they are important because the proximal segment of the sinus, adjacent to large tributaries, is often characterized by greater geometric and structural heterogeneity than the middle segment of the trunk [9, 10, 22].

The orifice of the coronary sinus opens into the right atrium near the inferior vena cava and the septal leaflet of the tricuspid valve. The morphology of the orifice is variable: round, oval, slit-shaped, crescent-shaped, and irregular shapes have been described. The size and configuration of the orifice can affect the technical difficulty of catheterization, as well as the nature of the sections obtained during morphological examination of this area [3, 8, 19, 23].

The Thebesian valve is an endocardial-type fold of varying degrees of development that partially or, less often, almost completely covers the ostium of the coronary sinus. The literature describes significant variability in its shape, thickness, and length. From a histological point of view, the valve has a fibro-elastic stromal base covered with endothelium, sometimes with the inclusion of single muscle fibers [8, 12, 24, 25].

For morphometry, it is fundamentally important to consider the ostium of the coronary sinus and the Thebesian valve as a separate anatomical and histological compartment. Mixing its parameters with the parameters of the trunk (especially the middle segment) leads to errors in the assessment of wall thickness, collagen content, and lumen geometry, since a complex transitional architectonics is formed in the ostium area between the venous wall and the structures of the right atrium [10, 13, 18].

The wall of the coronary sinus has a venous type of organization and consists of three membranes: tunica intima, tunica media and tunica adventitia. The inner membrane is represented by the endothelium and a thin subendothelial layer of connective tissue; the boundary between the intima and media in venous structures is often less clear than in arteries. On histological preparations, the coronary sinus often has a flattened or irregular shape due to post-fixation collapse, which must be taken into account in morphometry [14, 15, 18].

The middle membrane of the coronary sinus usually contains smooth myocytes with a predominantly circular orientation, collagen and elastic fibers. The expression of the muscular and elastic components may vary depending on the sinus segment, age, and concomitant changes in the heart. Some morphological studies have emphasized the unevenness of the media thickness along the vessel perimeter, which justifies the need for multipoint measurement [15-18].

The adventitia, as in most large veins, is often the most prominent lining of the coronary sinus. It is formed by fibrous connective tissue with a predominance of collagen fibers, contains elastic fibers, vasa vasorum, nerve elements and passes into the perivascular epicardial stoma, which may include adipose tissue. It is the adven-

titia and perivascular zone that are key compartments for the analysis of fibrosis, vascularization and cellular infiltration [14, 16, 18].

Based on the generalization of morphological sources, it is advisable to conditionally divide the coronary sinus into proximal, middle and distal segments of the trunk, as well as a separate section of the ostium. Such a division has not only anatomical, but also methodological meaning, since different segments are characterized by unequal reproducibility of histological sections and different informativeness for specific morphometric parameters [10, 13, 18].

The proximal segment, which is formed near the confluence of large tributaries, more often exhibits variable lumen geometry, uneven wall thickness, and more pronounced perivascular features. In this area, analysis of the adventitia, perivascular tissue, and vasa vasorum is particularly informative. However, for accurate comparison of sheath thickness between groups, the proximal segment may be less convenient due to anatomical heterogeneity [9, 10].

The middle segment of the coronary sinus is most suitable for standardized morphometric analysis. It is here that high-quality transverse sections with preserved wall perimeter and relatively better visualization of the sheaths are more often obtained. For this segment, it is advisable to determine the basic morphometric indicators: the area and perimeter of the lumen, deformation coefficients, the thickness of the intima, media, adventitia, the wall/lumen ratio, as well as the proportion of collagen and muscle components [10, 13, 15, 18].

The distal segment approaching the ostium may have a more complex lumen configuration, intimal folding and local wall reorganization associated with hemodynamic features. In this zone, it is important to clearly delimit the areas that still belong to the sinus trunk from the ostium itself and the valve region. Otherwise, systematic overestimation or underestimation of morphometric indicators is possible [8, 10, 12].

For preparations stained with hematoxylin-eosin, geometric and linear indicators are of priority: the lumen area and perimeter, the maximum and minimum diameters, their ratio, circularity (roundness index), total wall thickness, and the thickness of the intima, media, and adventitia. Taking into account the post-fixation subsidence of the venous wall, the assessment of only the absolute diameter is insufficient; a combination of planar parameters with relative indices is more informative [10, 13, 18].

It is advisable to measure the thickness of the membranes at 8-12 radially oriented points along the perimeter of the section, then calculate the average, median, minimum, and maximum. This approach minimizes the influence of local wall unevenness. To characterize the geometry of the lumen, it is recommended to additionally determine the deformation coefficient (D_{max}/D_{min}), as well as the wall/lumen, intima/media, and media/adventitia indices [10, 13].

On Van Gieson-stained slides, the most appropriate is a planar analysis of the collagen component within individual compartments: media, adventitia, and perivascular tissue. The use of color segmentation of digital micrographs allows for a transition from semiquantitative to quantitative (% collagen area) assessments, but

requires standardization of lighting, exposure, and segmentation thresholds [15, 16, 18].

Special stains for elastic fibers (orcein, resorcinol-fuchsin, etc.) are useful for assessing the elastic framework of the coronary sinus wall, especially the media. They can be used as a complement to Van Gieson in cases where the research task involves analyzing the ratio of collagen and elastic components or studying the segmental features of elastic fibers [17].

Immunohistochemical analysis enables assessment of both cellular composition and functionally relevant structural components. For the characterization of the endothelial lining and microvessels, it is advisable to use CD31, CD34 or vWF; for the assessment of the smooth muscle component – α -SMA; for proliferative activity – Ki-67; for the analysis of the immune cellular infiltrate – CD68, CD3, CD20. Morphometric approach may include counting positive cells per mm², determining microvessel density (MVD), endothelial continuity and planar fraction of positive signal [16, 18].

The key condition for correct morphometry is anatomical and histological standardization of material selection. It involves: (1) a clear definition of the coronary sinus segment (proximal, middle, distal, ostium), (2) priority of fragment selection for obtaining cross-sectional sections, (3) unification of criteria for suitability of preparations for morphometry, (4) separate analysis of the ostium and Thebesian valve zone [10, 13, 18].

In studies where the anatomical localization of the sample is not specified, the interpretation of morphometric data is significantly complicated. For example, an increase in wall thickness can be a consequence of both remodeling and the banal inclusion of the ostium area with a valve fold or an oblique cut. Similarly, changes in collagen or elasticity may not reflect a pathological process, but normal segmental variability [10, 13, 15].

The proposed standardized approach has practical value for both section and surgical material. In cases of limited tissue volume, it is advisable to use the middle segment of the trunk as the reference site for the main series of measurements, and to consider the proximal and distal segments as additional sites for assessing intraorgan variability. The ostium should be studied separately, especially if the goal is to characterize the Thebesian valve or to analyze anatomical factors that may influence endovascular manipulations [8, 10, 12, 24].

Knowledge of the morphology of the coronary sinus is of direct importance for interventional cardiology and electrophysiology. Variants of the ostium, Thebesian valve, and tributary may affect the success of cannulation, the catheter trajectory, the stability of electrode positioning, and the risk of wall trauma. Morphological data enable better interpretation of the causes of technical difficulties and the selection of optimal access tactics [3-5, 8, 20, 23].

For cardiac pathomorphology, coronary sinus examination is promising in the context of assessing venous remodeling in chronic heart failure, cardiomyopathies, pulmonary hypertension, and after cardiac surgery. Comprehensive wall morphometry (thickness of membranes, fibrosis, vascularization, cellular composition) can be used as a source of additional data on the structural microenvironment of the posterior atrioventricular region [16, 18].

In addition, a standardized method for examining the coronary sinus can become the basis for further comparisons of histological results with echocardiography, CT, MRI, or intraoperative imaging. Such interdisciplinary correlations are important for the development of morphologically based personalization of interventional procedures [4, 22, 23].

Conclusions.

1. The human coronary venous sinus is a morphologically variable venous structure, the structure of which is determined by the features of the topography in the posterior atrioventricular region, the configuration of the tributaries and the anatomy of the ostium with the possible presence of the Thebesian valve.

2. The wall of the coronary sinus has a venous type of organization and consists of intima, media and adventitia; the most pronounced compartment is the adventitia, which passes into the perivascular epicardial stroma and contains vasa vasorum and nervous elements.

3. The segmental heterogeneity of the coronary sinus (proximal, middle, distal sections of the trunk and the ostium area) is a significant factor that determines

the variability of the geometry of the lumen, wall thickness and component composition, therefore these areas require separate analysis.

4. The most suitable reference zone for standardized morphometry of the coronary sinus wall on histological preparations is the middle segment of the trunk, while the ostium area and the Thebesian valve should be analyzed according to a separate protocol.

5. The integrated use of hematoxylin-eosin, special stains (in particular, Van Gieson and elastic fiber stains) and immunohistochemical methods provides a complete quantitative characterization of the structural components of the coronary sinus and has significant applied value for morphology and interventional cardiology.

Prospects for further research.

It is promising to perform standardized morphometric and immunohistochemical studies of the coronary sinus on sectioned and surgical material with mandatory segmentation of the trunk and isolation of the ostium zone, as well as comparing histological indicators with intracardiac imaging data and clinical characteristics of patients.

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-389-397

УДК 611.142-018:616-07

^{1,2}Люлька Є. М.

МОРФОЛОГІЧНІ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОНАРНОГО ВЕНОЗНОГО СИНУСА ЛЮДИНИ

¹КП «Полтавський обласний клінічний медичний кардіоваскулярний центр Полтавської обласної ради» (м. Полтава, Україна)

²Полтавський державний медичний університет (м. Полтава, Україна)

0509539343@ukr.net

Коронарний венозний синус є основним венозним колектором серця, який забезпечує відтік крові від більшої частини міокарда та бере участь у формуванні анатомічного і функціонального мікрооточення задньої атріовентрикулярної ділянки. Незважаючи на значний інтерес до цього анатомічного утвору у кардіохірургії, електрофізіології та інтервенційній кардіології, систематизовані дані щодо його макрота і мікроморфології, сегментарної варіабельності будови стінки та морфометричних підходів до оцінки залишаються фрагментарними. Мета дослідження – обґрунтувати та систематизувати сучасні морфологічні підходи до дослідження коронарного венозного синуса людини на основі аналізу даних макроанатомічних, гістологічних та морфометричних досліджень, а також визначити методичні принципи стандартизованої оцінки структури його стінки на гістологічних препаратах. Застосовано описовий, порівняльний та структурно-логічний методи узагальнення. Узагальнено дані щодо макротопографії коронарного синуса, його приток, ділянки гирла і клапана Тебезія, гістологічної організації стінки (інтима, медія, адвентиція), компонентного складу та сегментарних особливостей проксимального, середнього, дистального відділів і зони гирла. Систематизовано перелік морфометричних параметрів, релевантних для препаратів, забарвлених гематоксиліном-еозином, за Ван-Гізоном та імуногістохімічними методами. Запропоновано принципи анатомо-гістологічної стандартизації відбору матеріалу для підвищення відтворюваності результатів. Морфологія коронарного синуса характеризується вираженою сегментарною варіабельністю, що потребує окремого аналізу стовбурових відділів і зони гирла. Найбільш придатною референтною ділянкою для стандартизованого морфометричного дослідження є середня частина стовбура коронарного синуса. Комплексне використання рутинних, спеціальних та імуногістохімічних методів забезпечує повноцінну оцінку структурних компонентів його стінки та має значення для морфології, кардіології та інтервенційної практики.

Ключові слова: коронарний венозний синус, морфологія, гістологічні особливості, морфометрія, серце, індивідуальні особливості, венозна система, гемомікроциркуляторне русло, імуногістохімічні маркери.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Стаття є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри анатомії з клінічною анатомією та оператив-

ною хірургією Полтавського державного медичного університету «Закономірності морфогенезу органів, тканин та судинно-нервових утворів у нормі, при па-

тології та під впливом екзогенних чинників», номер державної реєстрації 0118U004457.

Вступ.

Коронарний венозний синус є найбільшим венозним колектором серця, який збирає кров від більшої частини міокарда і відкривається у праве передсердя. Його топографія у задній частині вінцевої борозни, близькість до атріовентрикулярного вузла, кільця трикуспідального клапана та структур лівого передсердя зумовлюють не лише анатомічне, але й значне клінічне значення цієї венозної структури. Саме через коронарний синус здійснюють низку інтервенційних втручань: катетеризацію катетерами для електрофізіологічних досліджень, позиціонування електродів при кардіальній ресинхронізаційній терапії, окремі етапи абляційних процедур та ретроградні маніпуляції в кардіохірургії [1-5].

Попри широке клінічне використання доступу через коронарний синус, його морфологічний опис у багатьох джерелах обмежується загальними анатомічними характеристиками. Водночас для морфолога, кардіохірурга й інтервенційного кардіолога мають принципове значення варіанти форми та калібру коронарного синуса, особливості його приток, будова гирла і клапана Тебезія, а також сегментарна варіабельність стінки. Недооцінення цих аспектів може ускладнювати інтерпретацію візуалізаційних даних, макро- і мікроскопічну ідентифікацію ділянок відбору матеріалу та зіставлення результатів різних досліджень [6-9].

У морфологічних роботах останніх років дедалі більше уваги приділяють не тільки якісній характеристиці коронарного синуса, а й кількісній оцінці його структурних компонентів. Однак порівняння даних ускладнюється неоднаковою анатомічною локалізацією зразків, різними критеріями включення препаратів, відсутністю єдиного підходу до сегментації синуса на проксимальний, середній і дистальний відділи та співставлення показників стовбура із зоною гирла. Це актуалізує потребу у стандартизованому підході до проведення морфометричного аналізу коронарного венозного синуса [10-13].

Окремий інтерес становить гістологічна будова стінки коронарного синуса як венозної структури, що функціонує в умовах специфічної гемодинаміки та безпосереднього контакту з епікардіальними тканинами. Співвідношення інтими, медії та адвентиції, вміст колагенових та еластичних волокон, вираженість гладком'язового компонента, наявність *vasa vasorum* і клітинного інфільтрату можуть варіювати залежно від сегмента, віку, супутньої серцево-судинної патології та методики дослідження [14-18].

Таким чином, систематизований виклад морфології коронарного венозного синуса людини з позицій анатомічної, гістологічної та морфометричної оцінки є необхідним як для фундаментальної морфології, так і для клінічної практики. Узагальнення наявних відомостей з акцентом на стандартизацію відбору матеріалу та вибір морфометричних показників що може підвищити відтворюваність результатів у подальших дослідженнях.

Мета дослідження.

Обґрунтувати та систематизувати сучасні морфологічні підходи до дослідження коронарного венозного синуса людини на основі аналізу даних

макроанатомічних, гістологічних та морфометричних досліджень, а також визначити методичні принципи стандартизованої оцінки структури його стінки на гістологічних препаратах.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження має оглядово-аналітичний характер і спрямоване на узагальнення та методичну систематизацію підходів до морфологічного вивчення коронарного синуса людини. Об'єктом аналізу були наукові публікації, анатомічні та гістологічні атласи, клініко-анатомічні дослідження, а також результати морфологічних і морфометричних робіт, присвячених анатомії та гістологічній будові коронарного венозного синуса.

До аналізу включали джерела, що містили відомості про топографічну анатомію, варіантну будову, гістологічну організацію стінки та морфометричні параметри коронарного синуса, а також публікації, у яких описано методичні підходи до його морфологічного дослідження та клініко-прикладні аспекти, пов'язані з катетеризацією і візуалізацією даної структури.

Пошук та відбір джерел здійснювали за тематичними напрямками з урахуванням наявності чітко визначеної анатомічної локалізації досліджуваних сегментів коронарного синуса, опису морфометричних методик або даних, придатних для їх морфологічної інтерпретації.

У роботі застосовано описовий метод для систематизації макро- та мікоморфологічних характеристик, порівняльний метод для зіставлення сегментарних і варіантних особливостей будови коронарного синуса, а також структурно-логічний підхід для формування узгодженої схеми стандартизованого відбору гістологічного матеріалу та визначення пріоритетних морфометричних показників. Проведення формальних метааналітичних процедур не здійснювали у зв'язку з методичною неоднорідністю проаналізованих джерел.

Результати дослідження та їх обговорення.

Коронарний синус розташований у задньому відділі вінцевої борозни (*sulcus coronarius*) між лівим передсердям і лівим шлуночком, переходячи праворуч до ділянки впадіння у праве передсердя. Його положення у задній атріовентрикулярній ділянці визначає тісні топографічні взаємовідношення з лівим передсердям, кільцем мітрального клапана, правим передсердям, міжпередсердною перетинкою та елементами провідної системи серця [2, 4, 6, 19].

Традиційно коронарний синус описують як продовження великої вени серця, хоча межа між ними має умовний характер і в окремих роботах визначається за місцем впадіння косої вени лівого передсердя або іншими анатомічними орієнтирами. Найчастішими притоками коронарного синуса є велика, середня та мала вени серця, задня вена лівого шлуночка, коса вена лівого передсердя; при цьому набір приток, їхній діаметр і кут впадіння варіюють [5, 7, 20, 21].

У клінічному аспекті такі варіанти мають значення для проведення катетерів та електродів, особливо під час канюляції гирла коронарного синуса і просування у його притоки. Для морфолога вони важливі тим, що проксимальний сегмент синуса, прилеглий до великих приток, часто характеризується більшою

геометричною та структурною неоднорідністю, ніж середній сегмент стовбура [9, 10, 22].

Гирло коронарного синуса відкривається у праве передсердя поблизу нижньої порожнистої вени та септальної стулки трикуспідального клапана. Морфологія гирла є варіабельною: описано круглу, овальну, щілиноподібну, напівмісяцеву та нерегулярну форми. Розміри і конфігурація гирла можуть впливати на технічну складність катетеризації, а також на характер зрізів, які отримують під час морфологічного дослідження цієї ділянки [3, 8, 19, 23].

Клапан Тебезія є складкою ендокардіального типу різного ступеня розвитку, яка частково або, рідше, майже повністю прикриває устя коронарного синуса. У літературі описано значну варіабельність його форми, товщини та протяжності. З гістологічного погляду клапан має фіброзно-еластичну стромальну основу, вкрити ендотелієм, іноді з включенням поодиноких м'язових волокон [8, 12, 24, 25].

Для морфометрії принципово важливо розглядати гирло коронарного синуса та клапан Тебезія як окремий анатомо-гістологічний компартмент. Змішування його параметрів із показниками стовбура (особливо середнього сегмента) призводить до помилок в оцінці товщини стінки, частки колагену та геометрії просвіту, оскільки в зоні гирла формується складна перехідна архітектоніка між венозною стінкою і структурами правого передсердя [10, 13, 18].

Стінка коронарного синуса має венозний тип організації й складається з трьох оболонок: *tunica intima*, *tunica media* та *tunica adventitia*. Внутрішня оболонка представлена ендотелієм і тонким субендотеліальним шаром сполучної тканини; межа між інтимою і медією у венозних структурах часто менш чітка, ніж в артеріях. На гістологічних препаратах коронарний синус нерідко має сплюснену або нерегулярну форму внаслідок постфіксаційного колабування, що необхідно враховувати при морфометрії [14, 15, 18].

Середня оболонка коронарного синуса зазвичай містить гладкі міоцити з переважно циркулярною орієнтацією, колагенові та еластичні волокна. Виразність м'язового та еластичного компонентів може змінюватися залежно від сегменту синуса, віку, а також супутніх змін серця. У деяких морфологічних роботах наголошено на нерівномірності товщини медії по периметру судини, що обґрунтовує необхідність багатоточкового вимірювання [15-18].

Адвентиція, як і у більшості великих вен, часто є найбільш вираженою оболонкою коронарного синуса. Вона сформована волокнистою сполучною тканиною з переважанням колагенових волокон, містить еластичні волокна, *vasa vasorum*, нервові елементи і переходить у периваскулярну епікардіальну стому, яка може включати жирову тканину. Саме адвентиція та периваскулярна зона є ключовими компартментами для аналізу фіброзу, васкуляризації та клітинної інфільтрації [14, 16, 18].

На підставі узагальнення морфологічних джерел доцільним є умовний поділ коронарного синуса на проксимальний, середній і дистальний сегменти стовбура, а також окрему ділянку гирла. Такий поділ має не лише анатомічний, а й методичний сенс, оскільки різні сегменти характеризуються неоднаковою відтворюваністю гістологічних зрізів та різною

інформативністю для конкретних морфометричних параметрів [10, 13, 18].

Проксимальний сегмент, що формується поблизу впадіння великих приток, частіше демонструє варіабельну геометрію просвіту, нерівномірність товщини стінки й більш виражені особливості периваскулярного оточення. У цій зоні особливо інформативним є аналіз адвентиції, периваскулярної тканини та *vasa vasorum*. Водночас для точного порівняння товщини оболонок між групами проксимальний сегмент може бути менш зручним через анатомічну неоднорідність [9, 10].

Середній сегмент коронарного синуса є найбільш придатним для стандартизованого морфометричного аналізу. Саме тут частіше отримують якісні поперечні зрізи зі збереженням периметром стінки та відносно кращою візуалізацією оболонок. Для цього сегмента доцільно визначати базові морфометричні показники: площу і периметр просвіту, коефіцієнти деформації, товщину інтими, медії, адвентиції, відношення стінка/просвіт, а також частку колагенового та м'язового компонентів [10, 13, 15, 18].

Дистальний сегмент, що наближається до гирла, може мати більш складну конфігурацію просвіту, складчастість інтими та локальну перебудову стінки, пов'язану з особливостями гемодинаміки. У цій зоні важливо чітко відмежовувати ділянки, які ще належать до стовбура синуса, від власне гирла і клапанної області. Інакше можливе систематичне завищення або заниження морфометричних показників [8, 10, 12].

Для препаратів, забарвлених гематоксиліном-еозинном, пріоритетними є геометричні та лінійні показники: площа і периметр просвіту, максимальний та мінімальний діаметри, їх співвідношення, *circularity* (показник округлості), загальна товщина стінки, товщина інтими, медії та адвентиції. Враховуючи постфіксаційне спадіння венозної стінки, оцінка тільки абсолютного діаметра є недостатньою; більш інформативним є поєднання площинних параметрів із відносними індексами [10, 13, 18].

Вимірювання товщини оболонок доцільно проводити у 8-12 радіально орієнтованих точках по периметру зрізу з подальшим розрахунком середнього значення, медіани, мінімуму і максимуму. Такий підхід мінімізує вплив локальної нерівномірності стінки. Для характеристики геометрії просвіту рекомендовано додатково визначати коефіцієнт деформації (D_{max}/D_{min}), а також індекси стінка/просвіт, інтима/медія, медія/адвентиція [10, 13].

На препаратах, забарвлених за Ван-Гізеном, найбільш доцільним є площинний аналіз колагенового компоненту в межах окремих компартментів: медії, адвентиції та периваскулярної тканини. Використання кольорової сегментації цифрових мікрофотографій дозволяє перейти від напівкількісної оцінки до кількісних показників (% площі колагену), однак вимагає стандартизації освітлення, експозиції та порогів сегментації [15, 16, 18].

Спеціальні фарбування на еластичні волокна (орсеїн, резорцин-фуксин тощо) є корисними для оцінки еластичного каркаса стінки коронарного синуса, особливо медії. Вони можуть застосовуватися як доповнення до Ван-Гізона у випадках, коли дослідницьке завдання передбачає аналіз співвідношення колагену

нового та еластичного компонентів або вивчення сегментарних особливостей еластичних волокон [17].

Імуногістохімічний аналіз відкриває можливість оцінки як клітинного складу, так і функціонально релевантних структурних компонентів. Для характеристики ендотеліальної вистилки та мікросудин доцільним є використання CD31, CD34 або vWF; для оцінки гладком'язового компоненту – α -SMA; для проліферативної активності – Ki-67; для аналізу імуноклітинного інфільтрату – CD68, CD3, CD20. Морфометричний підхід може включати підрахунок позитивних клітин на mm^2 , визначення щільності мікросудин (MVD), безперервності ендотелію та площинної частки позитивного сигналу [16, 18].

Ключовою умовою коректної морфометрії є анатомо-гістологічна стандартизація відбору матеріалу. Вона передбачає: (1) чітке визначення сегмента коронарного синуса (проксимальний, середній, дистальний, гирло), (2) пріоритет відбору фрагментів для отримання поперечних зрізів, (3) уніфікацію критеріїв придатності препаратів до морфометрії, (4) окремий аналіз зони гирла і клапана Тебезія [10, 13, 18].

У роботах, де анатомічна локалізація зразка не уточнюється, інтерпретація морфометричних даних істотно ускладнюється. Наприклад, збільшення товщини стінки може бути наслідком як ремоделювання, так і банального включення ділянки гирла з клапанною складкою або косою зрізу. Аналогічно, зміни показників колагену чи еластики можуть відображати не патологічний процес, а нормальну сегментарну варіабельність [10, 13, 15].

Запропонований стандартизований підхід має прикладне значення і для секційного, і для операційного матеріалу. У випадку обмеженого обсягу тканини доцільно використовувати середній сегмент стовбура як референтну ділянку для основної серії вимірювань, а проксимальний і дистальний сегменти розглядати як додаткові для оцінки внутрішньо-органної варіабельності. Ділянку гирла слід вивчати окремо, особливо якщо метою є характеристика клапана Тебезія або аналіз анатомічних чинників, що можуть впливати на ендovasкулярні маніпуляції [8, 10, 12, 24].

Знання морфології коронарного синуса має безпосереднє значення для інтервенційної кардіології та електрофізіології. Варіанти гирла, клапана Тебезія та приток можуть впливати на успішність канюляції, траєкторію проведення катетера, стабільність позиціонування електродів і ризик травматизації стінки. Морфологічні дані дозволяють краще інтерпретувати причини технічних труднощів та обирати оптимальну тактику доступу [3-5, 8, 20, 23].

Для патоморфології серця дослідження коронарного синуса є перспективним у контексті оцінки ве-

нозного ремоделювання при хронічній серцевій недостатності, кардіоміопатіях, легеневої гіпертензії, а також після кардіохірургічних втручань. Комплексна морфометрія стінки (товщина оболонки, фіброз, васкуляризація, клітинний склад) може бути використана як джерело додаткових даних про структурне мікрооточення задньої атріовентрикулярної ділянки [16, 18].

Крім того, стандартизована методика дослідження коронарного синуса може стати основою для подальших зіставлень гістологічних результатів з даними ехокардіографії, КТ, МРТ або інтраопераційної візуалізації. Такі міждисциплінарні кореляції є важливими для розвитку морфологічно обґрунтованої персоналізації інтервенційних процедур [4, 22, 23].

Висновки.

1. Коронарний венозний синус людини є морфологічно варіабельною венозною структурою, будова якої визначається особливостями топографії у задній атріовентрикулярній ділянці, конфігурацією приток та анатомією гирла з можливою наявністю клапана Тебезія.

2. Стінка коронарного синуса має венозний тип організації та складається з інтими, медії й адвентиції; при цьому найбільш вираженим компартментом є адвентиція, що переходить у периваскулярну епікардіальну строму і містить vasa vasorum та нервові елементи.

3. Сегментарна неоднорідність коронарного синуса (проксимальний, середній, дистальний відділи стовбура та ділянка гирла) є істотним чинником, який визначає варіабельність геометрії просвіту, товщини стінки та компонентного складу, тому ці ділянки потребують окремого аналізу.

4. Найбільш придатною референтною зоною для стандартизованої морфометрії стінки коронарного синуса на гістологічних препаратах є середній сегмент стовбура, тоді як ділянка гирла та клапан Тебезія повинні аналізуватися за окремим протоколом.

5. Комплексне використання гематоксилін-еозину, спеціальних забарвлень (зокрема за Ван-Гізоном та на еластичні волокна) і імуногістохімічних методів забезпечує повноцінну кількісну характеристику структурних компонентів коронарного синуса та має вагомий прикладний значення для морфології й інтервенційної кардіології.

Перспективи подальших досліджень.

Перспективним є виконання стандартизованих морфометричних та імуногістохімічних досліджень коронарного синуса на секційному й операційному матеріалі з обов'язковою сегментацією стовбура та виділенням зони гирла, а також зіставленням гістологічних показників із даними інтракардіальної візуалізації та клінічними характеристиками пацієнтів.

References / Література

1. Gray H. Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. 41st ed. London: Elsevier; 2016. 1562 p.
2. Standring S, editor. Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. 42nd ed. London: Elsevier; 2020. 1606 p.
3. Wilson A, Bhutta BS. Anatomy, Thorax, Coronary Sinus. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557566/>.
4. Wandzel-Loch B, Mazur M, Walocha K, Kuniewicz M, Konarska M, Bereza T, Kucharska A. Morphometric parameters of human coronary sinus - based on study of 80 human hearts. *Folia Med Cracov*. 2015;55(3):5-13.
5. Asirvatham S, Packer D, Hayes D, Hammill S, Munger T, Friedman P, et al. Anatomy of the Coronary Sinus and Epicardial Coronary Venous System in 620 Hearts: An Electrophysiology Perspective. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2013;24(1):1-6.
6. Spencer JH, Anderson SE, Iazzo PA. Human coronary venous anatomy: implications for interventions. *J Cardiovasc Transl Res*. 2013;6(2):208-17.

- Aryal M, Neupane NP, Rajlawot K, Paudel I, Koirala S, Keshari S, et al. Yes, Bridges Do Connect!-A Rare Case of Coronary Sinus Communicating Into the Left Atrium Through a Bridging Vein. *Clin Case Rep.* 2025;13(10):e70961.
- Maher T, Stabenau HF, d'Angelo R, Yang S, Scanavacca M, d'Avila A. Interventions for coronary sinus access with an obstructing Thebesian valve. *HeartRhythm Case Rep.* 2024;10(10):738-741.
- Yaminisharif A, Davoodi G, Kazemisaeid A, Sadeghian S, Farahani AV, Yazdanifard P, et al. Characterization of suitability of coronary venous anatomy for targeting left ventricular lead placement in patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *J Tehran Heart Cent.* 2012;7(1):10-4.
- Zabina B, Singla RK, Sharma RK, Bala N. Morphological and Morphometric Study of Coronary Sinus in North Indian Population. *J Clin Diagn Res.* 2017;11(9):AC15-AC19.
- Bilash SM, Pronina OM, Lyulka YEM. Suchasne uyavlennya pro morfolohiyu venoznoyi systemy sertsya ta metody yiyi doslidzhennya. *Visnyk problem biolohiyi i medytsyny.* 2019;3(152):16-19. [in Ukrainian].
- Stawek-Szmyt S, Szmyt K, Żaba C, Grygier M, Lesiak M, Araszkiwicz A. Peculiarities in coronary sinus anatomy: implications for successful cannulation from an autopic study. *Europace.* 2021;23(11):1787-1794.
- Chmielewski P, Strzelecki M. Morphometry of venous wall structures in histological sections: methodological issues. *Folia Morphol (Warsz).* 2017;76(4):585-593.
- Junqueira LC, Carneiro J. *Basic Histology: Text and Atlas.* 15th ed. New York: McGraw-Hill; 2018. 480 p.
- Ross MH, Pawlina W. *Histology: A Text and Atlas.* 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2020. 1063 p.
- Kawashima T, Sato F. Structural anatomy of the human cardiac venous system for electrophysiologic interventions. *J Arrhythm.* 2015;31(1):1-8.
- Anderson RH, Spicer DE, Sanchez-Quintana D. Developmental, normal, and abnormal anatomy of the coronary sinus. *Indian Pacing Electrophysiol J.* 2025;25(6):417-424.
- Ratajczyk-Pakalska E, et al. Histological assessment of venous wall remodeling: collagen and elastic fiber quantification methods. *Pol J Pathol.* 2019;70(3):173-181.
- Sánchez-Quintana D, Doblado-Calatrava M, Cabrera JA, Macías Y, Saremi F. Anatomical Basis for the Cardiac Interventional Electrophysiologist. *Biomed Res Int.* 2015;2015:547364.
- Noheria A, DeSimone CV, Lachman N, Edwards WD, Gami AS, Maleszewski JJ, et al. Anatomy of the coronary sinus and epicardial coronary venous system relevant to catheter ablation and device therapy. *Heart Rhythm.* 2013;10(7):1042-1049.
- Ciuk S, Janas P, Klimek-Piotrowska W. Clinical anatomy of human heart atria and interatrial septum - anatomical basis for interventional cardiologists and electrocardiologists. Part 2: left atrium. *Kardiol Pol.* 2018;76(3):510-519.
- Sirajuddin A, Chen MY, White CS, Arai AE. Coronary venous anatomy and anomalies. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2020;14(1):80-86.
- Młynarski R, Młynarska A, Sosnowski M. Coronary venous system in cardiac computer tomography: Visualization, classification and role. *World J Radiol.* 2014;6(7):399-408.
- Shanthini S Jr, Suma HY. Morphological Study of the Thebesian Valve in Fresh Autopsied Adult Human Hearts. *Cureus.* 2023;15(3):e36534.
- Kesime EB, Buchan KG. Clinical anatomy of the coronary venous system and relevance to retrograde cardioplegia and cardiac electrophysiological interventions. *Clin Anat.* 2025;38(1):43-53.

МОРФОЛОГІЧНІ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОНАРНОГО ВЕНОЗНОГО СИНУСА ЛЮДИНИ

Люлька Є. М.

Резюме. Коронарний синус є головним венозним колектором серця, через який здійснюється відтік крові від основної частини міокарда. Вона також відіграє важливу роль у формуванні анатомічного та функціонального мікрооточення задньої атріоventрикулярної ділянки. Попри значну увагу до цього анатомічного утвору в кардіохірургії, електрофізіології та інтервенційній кардіології, узагальнені відомості про його макро- і мікроморфологічні особливості, сегментарну варіабельність будови стінки та підходи до морфометричної оцінки залишаються неповними та недостатньо систематизованими. Мета дослідження – обґрунтувати та систематизувати сучасні морфологічні підходи до дослідження коронарного венозного синуса людини на основі аналізу даних макроанатомічних, гістологічних та морфометричних досліджень, а також визначити методичні принципи стандартизованої оцінки структури його стінки на гістологічних препаратах. Проведено аналітичний огляд наукових публікацій, анатомічних атласів, морфологічних і клініко-анатомічних досліджень, присвячених топографії, гістологічній будові, варіантній анатомії та методам морфометричного аналізу коронарного синуса. Для узагальнення отриманої інформації використано описовий, порівняльний та структурно-логічний методи.

Систематизовано дані щодо макротопографічних особливостей коронарного синуса, його приток, ділянки гирла та клапана Тебезія, а також гістологічної організації стінки, представленої інтимою, медією та адвентицією. Узагальнено відомості про компонентний склад стінки та сегментарні відмінності між проксимальним, середнім, дистальним відділами і зоною гирла. Визначено перелік морфометричних показників, придатних для аналізу препаратів, забарвлених гематоксилином-еозином, за Ван-Гізеном та з використанням імуногістохімічних методів. Запропоновано принципи анатомо-гістологічної стандартизації відбору матеріалу, спрямовані на підвищення відтворюваності результатів морфометричних досліджень.

Таким чином, будова коронарного синуса характеризується вираженою сегментарною варіабельністю, що зумовлює необхідність окремого аналізу різних відділів її стовбура та ділянки гирла. Найбільш придатною референтною зоною для стандартизованого морфометричного дослідження визначено середню частину стовбура коронарного синуса. Комплексне застосування рутинних, спеціальних та імуногістохімічних методів дозволяє повноцінно оцінити структурні компоненти його стінки, що має важливе значення для морфологічних досліджень, клінічної кардіології та інтервенційної практики.

Ключові слова: коронарний синус, морфологія, гістологічні особливості, морфометрія, серце, індивідуальні особливості, венозна система, гемомікроциркуляторне русло, імуногістохімічні маркери.

MORPHOLOGICAL METHODS FOR THE STUDY OF THE HUMAN CORONARY VENOUS SINUS

Liulka Ye. M.

Abstract. The coronary sinus is the main venous collector of the heart, through which the outflow of blood from the major part of the myocardium occurs. It also plays an important role in the formation of the anatomical and functional microenvironment of the posterior atrioventricular region. Despite considerable attention to

this anatomical structure in cardiac surgery, electrophysiology, and interventional cardiology, generalized data on its macro- and micromorphological features, segmental variability of the wall structure, and approaches to morphometric assessment remain incomplete and insufficiently systematized. The aim of the study is to substantiate and systematize modern morphological approaches to the study of the human coronary venous sinus based on the analysis of data from macroanatomical, histological, and morphometric studies, as well as to determine the methodological principles of standardized assessment of its wall structure on histological specimens. An analytical review of scientific publications, anatomical atlases, morphological and clinical-anatomical studies devoted to the topography, histological structure, variant anatomy, and methods of morphometric analysis of the coronary sinus was performed. Descriptive, comparative, and structural-logical methods were used to summarize the obtained information.

Data on the macrotopographic features of the coronary sinus, its tributaries, the ostial region and the Thebesian valve, as well as the histological organization of the wall represented by the intima, media, and adventitia were systematized. Information on the component composition of the wall and segmental differences between the proximal, middle, and distal segments and the ostial region was summarized. A set of morphometric parameters suitable for the analysis of specimens stained with hematoxylin and eosin, Van Gieson stain, and immunohistochemical methods was identified. Principles of anatomical and histological standardization of material sampling aimed at improving the reproducibility of morphometric study results were proposed.

Thus, the structure of the coronary sinus is characterized by pronounced segmental variability, which necessitates separate analysis of the different parts of its trunk and the ostial region. The middle part of the coronary sinus trunk has been identified as the most appropriate reference area for standardized morphometric studies. The combined use of routine, special, and immunohistochemical methods allows a comprehensive evaluation of the structural components of its wall and is important for morphological studies, clinical cardiology, and interventional practice.

Key words: coronary sinus, morphology, histological features, morphometry, heart, individual features, venous system, hemomicrocirculatory bed, immunohistochemical markers.

ORCID and contribution / ORCID автора та його внесок до статті:

Liulka Ye. M.: <https://orcid.org/0009-0000-3459-6058> ^{ABCDEF}

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Liulka Yevhen Mykolaiovych / Люлька Євген Миколайович

МЕ "Poltava Regional Clinical Medical Cardiovascular Center of the Poltava Regional Council" / КП «Полтавський обласний клінічний медичний кардіоваскулярний центр Полтавської обласної ради»

Ukraine, 36000, Poltava, 1A Anton Tsedik str. / Україна, 36000, м. Полтава, вул. Антона Цедіка 1А

Tel.: +380509539343 / Тел.: +380509539343

E-mail: 0509539343@ukr.net

A – Work concept and design, **B** – Data collection and analysis, **C** – Responsibility for statistical analysis, **D** – Writing the article, **E** – Critical review, **F** – Final approval of the article / **A** – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

This article is distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC-BY) License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited © All authors, 2026 / Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Received 06.11.2025 / Стаття надійшла 06.11.2025 року

Accepted 03.03.2026 / Стаття прийнята до друку 03.03.2026 року

Published 27.03.2026 / Опубліковано 27.03.2026 року