

РОЛЬ ВНУТРІШНЬОПАЗУШНИХ УТВОРЕНЬ У ЦИРКУЛЯЦІЇ КРОВІ ТА ЛІКВОРУ В ГОЛОВНОМУ МОЗКУ

У роботі на макро-мікроскопічному рівні представлена морфологічна характеристика структур венозних пазух головного мозку. Різноманітні види утворень на внутрішніх стінках суттєво впливають на рух крові в просвіті пазух. Деякі структури стабілізують стінку пазухи укріплюючи її волокнистий каркас, інші протидіють розтягненню і розриву, а інші поглинають пульсові коливання при зміні фізичних факторів. Однак найбільшій морфо-функціональній увазі привертають утворення, що є похідними павутинної оболонки головного і спинного мозку – пахіонові грануляції. За традиційними уявленнями грануляції суттєво впливають на механізми циркуляцію ліквора в замкненій порожнині черепа, а за новітніми даними виступають посередниками у виникненні тромбозів венозних колекторів головного мозку, який непропорційно вражає молодих людей і може бути летальним. Хоча останнім часом увага привертається до пов'язаних з тромбозом інсультів у зв'язку з вакцинами проти COVID-19, наше розуміння цього стану залишається обмеженим і в основному невивченим.

Ключові слова: внутрішньопазушні утворення, грануляції, мозкові венозні пазухи.

Тромбоз венозних пазух головного мозку є типом інсульту, який непропорційно вражає молодих людей і може бути летальним [3]. Останнім часом увага привертається до інсультів у зв'язку з вакцинами проти COVID-19, [9] наше розуміння цього стану залишається обмеженим і в основному невивченим. Патологія інсульту, пов'язаного з тромбозом, включає складну взаємодію тріади Вірхова, яка охоплює змінений кровотік, гіперкоагуляцію та ендотеліальну дисфункцію [3]. Ці сучасні літературні представлення яскраво демонструють два фактори з трьох, що пов'язані з морфо-функціональними особливостями внутрішньопазушних утворень, створюючи значні проблеми для точної діагностики та спостереження. Отже, на внутрішній поверхні пазух твердої оболонки головного мозку (ТОГМ) розташовані різноманітні внутрішньопазушні утворення (ВПУ), серед яких такі, що суттєво впливатимуть на циркуляцію внутрішньопазушної рідини [1, 4]. Головними представниками таких утворень виступають пахіонові грануляції, ниткоподібні, перетинки, подушки та інші форми похідних ендотелію [5]. Дослідження морфології рельєфу люменальної поверхні стінок пазух має епізодичний характер, а по деяких пазухах, особливо основи черепа і зовсім відсутній у науковій літературі.

Однією з важливих складових структурної організації ВПУ є судинні утворення рівня артеріоло-капілярних компонентів, що формують мікроциркуляторне русло (МЦР). Значення МЦР для кожного органу важко переоцінити, що підтверджується багатьма науковими працями [7,10]. Судинна сітка ТОГМ піддається в процесі розвитку значній перебудові. Перші судини ТОГМ являють собою кров'яні островці, розвиток яких спостерігається в ділянках найбільш активного гістогенезу. Для стінок пазух ТОГМ є характерною наявність однієї капілярної сітки без певної площинної орієнтації, спільної для всієї товщини сполучнотканинної оболонки стінки пазухи [9]. Так у складі зовнішніх стінок поперечних пазух наявні артеріальні сітки, але відповідні їм борозни на внутрішній поверхні кісток відсутні, що підтверджує саме субендотеліальне розміщення артеріальних сіток та розміщення всередині сполучнотканинної оболонки пазух судин, що їх утворюють [2]. Субендотеліальне розміщення артеріальної сітки в стінках пазух ми спостерігали в наших ранніх роботах, де нами було зазначено, що це обумовлено розростаннями павутинної оболонки, що й формують пахіонові грануляції.

За нашими спостереженнями рельєф люменальної (внутрішньої) поверхні пазух ТОГМ людини неоднорідний на відміну від вен. У просвіті пазухи знаходяться різні структури, які виконують певні функції. Більшість ВПУ, крім ворсинок та грануляцій павутинної оболонки, є похідними сполучнотканинної оболонки стінок синуса.

Перший вид ВПУ, який найчастіше зустрічається є трабекули, які на внутрішній поверхні пазух розташовуються поблизу країв стінок у місці, де одна стінка контактує з іншою. Трабекулярний апарат представляє собою складчасті утвори стінки пазухи, які виступають у її просвіт (рис. 1).

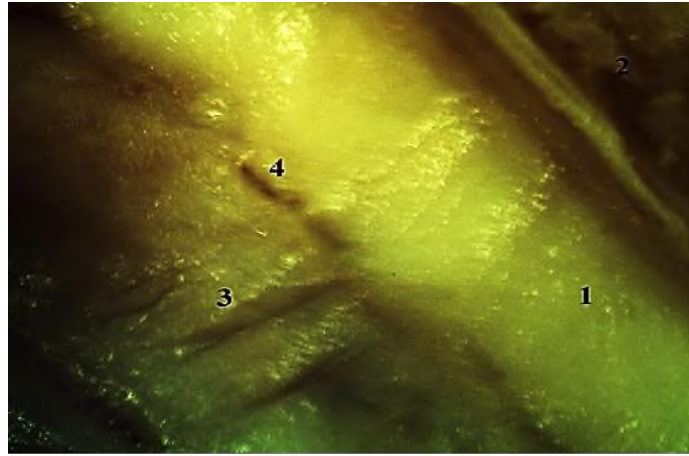


Рис. 1. Трабекули і щілиноподібне гирло вени на внутрішній стінці пазухи:
1 – внутрішня стінка; 2 – зовнішня стінка; 3 – трабекули; 4 – щілиноподібне гирло вени.
Фото з макропрепарату. Лінійне збільшення 6.

Висота складок коливається від 1 до 3 мм. За рахунок цього трабекули можуть приймати участь у стабілізації колагенового каркасу стінки при зростанні тиску крові, або його різкому зниженні, перерозподіляючи навантаження кровотоку на основну площу стінки і таким чином забезпечують регуляторну функцію. Як правило біля трабекул зустрічаються щілиноподібні гирла вен, які мають вигляд вузьких щілин із заокругленими краями. На одному із країв щілиноподібного отвору помітні досить тонкі ендотеліальні складки, які виконують регуляторну функцію. Під час проходження пульсової хвилі, запобігають попаданню крові із просвіту синуса через щілиноподібне гирло у просвіт вен твердої мозкової оболонки.

Другим видом ВПУ, що визначаються в просвіті венозного мозкового колектора, є перегородки завдовжки від 4 до 10 мм, і з широкими кінцями з обох боків. Розміщені вони у кутах синусів або ближче до місця переходу однієї стінки синуса в іншу, і є додатковими утвореннями для укріплення місця переходу, тобто виконують опорну функцію. Приймаючи участь у перерозподілі кров'яних потоків, здійснюючи регуляторну функцію (рис. 2).

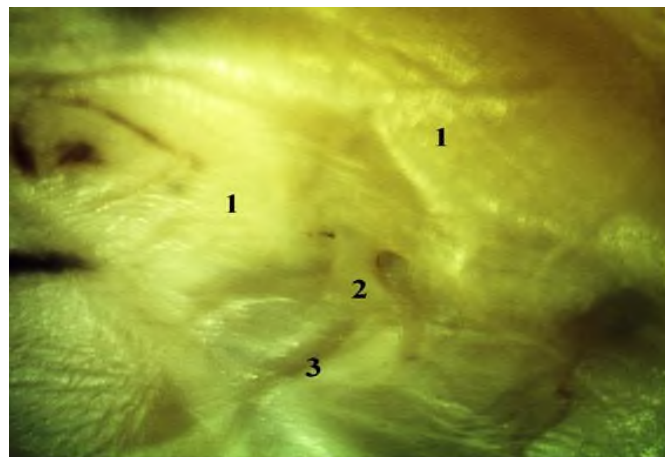


Рис. 2. Перегородка між двома внутрішніми стінками лівого поперечного синуса:
1 – внутрішні стінки; 2 – перегородка; 3 – трабекули.
Фото з макропрепарату. Лінійне збільшення 6.

Третій тип ВПУ, який на внутрішній поверхні пазух також виявлялися у місцях переходу однієї стінки на іншу. Вони мають вигляд ниток, що розтягнені між сусідніми стінками, фактично з'єднуючи сполучнотканинний каркас двох сусідніх утворень та протидіють розтягненню пазухного простору, тому вони отримали назву «нитки супротиву». Нитки мають вигляд округлих тонких утворень циліндричної форми завдовжки від 5 до 15 мм з широкими основами з обох кінців (рис. 3). Виконуючи стабілізаційну функцію вони протидіють розтягуванню під час розповсюдження пульсової хвилі, або збільшенні кількості крові в пазусі тим самим перешкоджають надмірному розтягненню або розриву стінки пазух.

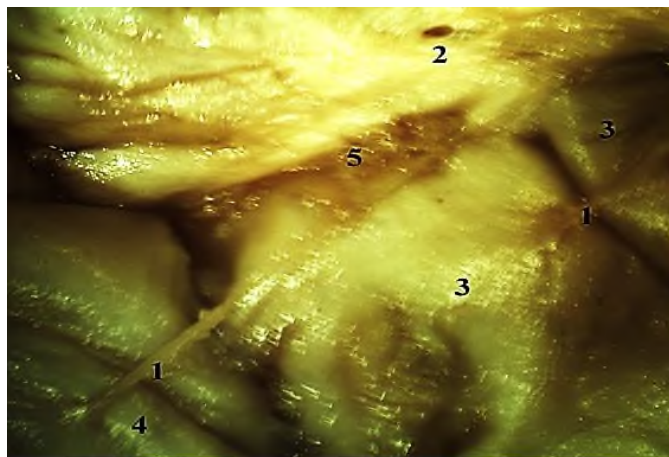


Рис. 3. Нитки супротиву у просвіті пазухи: 1 – нитка супротиву; 2 – щілиноподібне гирло вени; 3 – внутрішні стінки; 4 – зовнішня стінка; 5 – пахіонові грануляції.
Фото з макропрепарату. Лінійне збільшення 6.

Четвертий тип ВПУ – ендотеліальні подушки. Спостерігається в ділянках переходу однієї частини пазухи в іншу, або при переході однієї пазухи в іншу. В таких місцях різко змінюється напрям ходу пазухи, а в деяких випадках і їх діаметр. Тому на внутрішніх стінках нами виявлялись підвищення, що по формі нагадують подушки, що сформовані розростанням субендотеліального прошарку. Їх розміри досить варіабельні і коливаються від 5 до 17 мм. Зазвичай від цих овальних або округлих утворень у різні боки відходять 4-6 невеличких сполучнотканинних хорд довжиною від 2 до 5 мм (рис. 4).

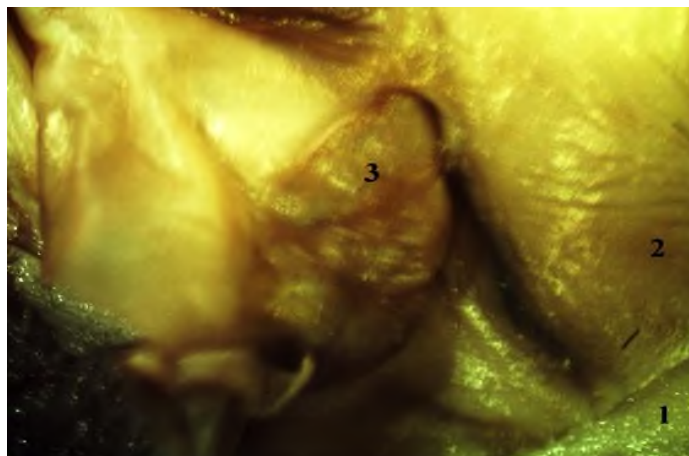


Рис. 4. Ендотеліальна подушка при переході поперечної пазухи в сигмоподібну:
1 – стінка сигмовидної пазухи; 2 – стінка поперечної пазухи; 3 – ендотеліальна подушка.
Фото з макропрепарату. Лінійне збільшення 6.

Виходячи з зазначеної форми можна припустити, що ендотеліальні подушки мають здатність до скорочення та розтягнення. Окрім того, на нашу думку, дана структура може виконувати амортизаційну функцію, що поглинає пульсову хвилю току рідини, що змінює напрямок при переході однієї пазухи в іншу. Крім цього наявність відростків можуть звужувати просвіт, запобігаючи зворотному току крові і також виконують регуляторну функцію.

П'ятий тип ВПУ, що нами спостерігався при макроскопічному дослідженні люменальної поверхні пазух ТОГМ були поодинокі ворсинки, які локалізуються переважно на межі переходу однієї внутрішньої стінки пазухи в іншу внутрішню стінку. Морфологічно ворсинки були овальної та округлої форми висотою від 2 до 4 мм. Розташовуються ворсинки переважно в заглибленнях внутрішньої стінки синуса та в основі перегородок.

Шостий тип ВПУ представляють собою скупчення описаних вище структур (ворсинок), які об'єднуючись утворюють пахіонові грануляції тому, що є похідними павутинної оболонки та як і ворсинки виконують роль реабсорбції цереброспінальної рідини у венозну кров, яка заповнює просвіт пазух ТОГМ. Найчастіше грануляції спостерігались на внутрішніх, обернутих до мозкової поверхні стінках пазух, а також біля кута і в заглибленнях внутрішніх стінок, що виступали у просвіт пазухи (рис. 5). Лінійні розміри складають від 5 до 15 мм, а висота грануляції частіше була від 3 до 6 мм. Ворсини і пахіонові грануляції вкриті менінготелієм на відміну від інших розглянутих структур, які знаходились на внутрішній поверхні

пазух і були вкриті ендотелієм. Пахіонові грануляції виконують функцію реабсорбції спинномозкової рідини у венозну кров, яка заповнює синуси ТМО.

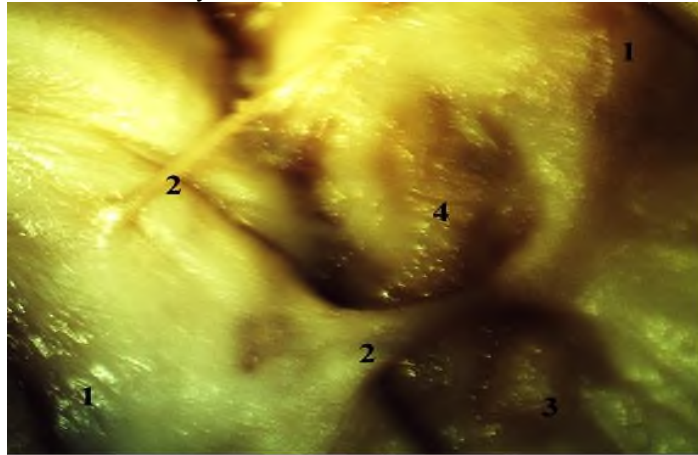


Рис. 5. Пахіонові грануляції в заглибленні стінки:
1 – внутрішні стінки; 2 – нитки супротиву; 3 – ендотеліальна подушка;
4 – пахіонові грануляції. Фото з макропрепарату. Лінійне збільшення 6.

Висвітлені отримані результати свідчать про чисельний арсенал ВПУ мозкових пазух, що забезпечують розподіл кровотоку під час проходження пульсової хвилі, сприяють кровопостачанню стінок пазух, укріплюють ділянки переходу однієї стінки в іншу, тим самим протидіють навантаженню пульсової хвилі на стінки пазух в умовах замкненою порожнини черепа.

References

1. Aydın, H. E. et al. Biomechanical properties of the cranial dura mater with puncture defects: an in vitro study. J. Korean Neurosurg. Soc. 62, 382–388. <https://doi.org/10.3340/jkns.2018.0130> (2019).
2. Balik, V. et al. Variability in wall thickness and related structures of major dural sinuses in posterior cranial fossa: a microscopic anatomical study and clinical implications. Operative neurosurgery (Hagerstown, Md.) 17, 88–96 (2019).
3. Cesare de Gregorio, et al. Cerebral venous thrombosis after COVID-19 vaccines: Do we know the mechanism? Lancet Reg Health Eur. 2022 May;16:100387. doi: 10.1016/j.lanepe.2022.100387
4. Darragh R Walsh, et al. Mechanical and structural characterisation of the dural venous sinuses. PMC <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78694-4>.
5. Mortazavi, M. M. et al. Chapter 27—surgical nuances in management of intracranial venous sinus injuries. In Anatomy 231–236 (Elsevier, Philadelphia, 2020).
6. Naoki Toma Embryology of the cavernous sinus and relevant veins. Journal of Neuroendovascular Therapy Vol. 14, No. 12 (2020) 540–546 DOI: 10.5797/jnet.ra.2020-0052
7. Patchana, T., Zampella, B., Berry, J. A., Lawandy, S. & Sweiss, R. B. Superior sagittal sinus: a review of the history, surgical considerations, and pathology. Cureus 11, e4597–e4597 (2019).
8. Zwirner, J., Ondruschka, B., Scholze, M., Schulze-Tanzil, G. & Hammer, N. Mechanical and morphological description of human acellular dura mater as a scaffold for surgical reconstruction. J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 96, 38–44 (2019).
9. Zhao Y, Zhang X, Lv B, et al. Movable typing of full-lumen personalized Vein-Chips to model cerebral venous sinus thrombosis. Aggregate: Volume 4, Issue 6, 2023 <https://doi.org/10.1002/agt2.386>
10. Zhao Y, Zhang X, Lv B, et al. Dural sinus septum: an underlying cause of cerebral venous sinus stenting failure and complications. Stroke & Vascular Neurology 2024;9: e002407. doi:10.1136/svn-2023-002407

DOI 10.34132.mspc2025.01.08.37

Valerii Chernov
Dmytro Zyuzin
Igor Bereza

THE ROLE OF INTRA-SINOUS FORMATIONS IN THE CIRCULATION OF BLOOD AND CSF IN THE CRAIN

The work presents the morphological characteristics of the structures of the venous sinuses of the brain at the macro-microscopic level. Various types of formations on the inner walls significantly affect the movement of blood in the lumen of the sinuses. Some structures stabilize the sinus wall by strengthening its fibrous framework, others

counteract stretching and tearing, and others absorb pulse oscillations when changing physical factors. However, the greatest morpho-functional attention is attracted by formations that are derivatives of the arachnoid membrane of the brain and spinal cord - pachyon granulations. Traditionally, granulations have been thought to significantly affect the mechanisms of CSF circulation in the closed cranial cavity, but recent evidence suggests that they mediate the occurrence of cerebral venous thrombosis, which disproportionately affects young people and can be fatal. Although recent attention has been drawn to thrombosis-related strokes in connection with COVID-19 vaccines, our understanding of this condition remains limited and largely unexplored.

Keywords: intrasinus masses, granulations, cerebral venous sinuses.

Відомості про автора / Information about the Author

Валерій Черно, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри анатомії, клінічної анатомії, патоморфології та судової медицини навчально-наукового медичного інституту Чорноморського національного університету імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, E-mail: chern1965@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4637-9875>

Valerii Cherno, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Anatomy, Clinical Anatomy, Pathomorphology and Forensic Medicine of the Educational and Scientific Medical Institute of the Black Sea National University named after Peter Mohyla, Mykolaiv, Ukraine E-mail: chern1965@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4637-9875>

Дмитро Зюзін, аспірант кафедри анатомії, клінічної анатомії, патоморфології та судової медицини Чорноморського національного університету імені Петра Могили, Миколаїв, Україна. E-mail: dmitryzyuzin57@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0746-2316>

Dmytro Zyuzin, PhD student, Department of Anatomy, Clinical Anatomy, Pathomorphology and Forensic Medicine of the Educational and Scientific Medical Institute of the Black Sea National University named after Peter Mohyla, Mykolaiv, Ukraine, E-mail: dmitryzyuzin57@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0746-2316>

Ігор Береза, викладач кафедри анатомії, клінічної анатомії, патоморфології та судової медицини навчально-наукового медичного інституту Чорноморського національного університету імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, E-mail: igorbereza1406@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4916-1342>

Ihor Bereza, Lecturer of the Department of Anatomy, Clinical Anatomy, Pathomorphology and Forensic Medicine of the Educational and Scientific Medical Institute of the Black Sea National University named after Peter Mohyla, Mykolaiv, Ukraine E-mail: igorbereza1406@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4916-1342>

