

УДК 611.714.013.018

DOI: 10.24061/1727-0847.25.1.2026.15

М. Е. Латинський, Л. П. Лаврів*Кафедра анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії (зав. – проф. О. М. Слободян)
Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці*

СУЧАСНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОРФОГЕНЕЗ СТРУКТУР І УТВОРІВ ЗОВНІШНЬОЇ ОСНОВИ ЧЕРЕПА В ОНТОГЕНЕЗІ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Резюме. Морфологічне дослідження черепа та його утворів не лише розкриває еволюційну історію людства, а й підкреслює роль основи черепа як автономного центру росту всього черепно-лицевого комплексу. Незважаючи на тривалу історію досліджень, дані про пре- та постнатальний розвиток окремих елементів, зокрема кісткових утворів зовнішньої основи черепа, залишаються фрагментарними, що обмежує розробку нових хірургічних доступів. Зовнішня основа черепа демонструє більш тривалий та специфічний темп росту, на який суттєво впливає раннє формування черепних нервів і магістральних судин, що проходять крізь її отвори. Детальне дослідження отворів зовнішньої основи черепа може надати додаткові відомості про морфологію черепа шляхом оцінки топографічних та морфометричних зв'язків між отворами черепа та співвідношення результатів з клінічною практикою. Важливо проаналізувати варіанти розташування, розміри, форми та співвіднести отримані результати з літературними даними та з клінічною практикою. Детальні знання та належне передопераційне планування значно мінімізують ризик пошкодження нейроваскулярних структур, що проходять через отвори та канали черепа. Дослідження типових та додаткових отворів зовнішньої основи черепа матиме не лише анатомічне значення, але й діагностичне та хірургічне значення, зокрема, при невралгії трійчастого нерва, пухлинах та різних типах епілепсії, тонкогolkовій аспіраційній біопсії, периневральному поширенні пухлини, електроенцефалографічному аналізі у випадку судом тощо.

Ключові слова: анатомія, морфогенез, структура, отвір, кістка, зовнішня основа черепа, людина.

Сучасна нейроанатомія основи черепа традиційно базується на використанні хірургічних атласів, які дозволяють детально вивчати тривимірні взаємозв'язки між ключовими структурами. Проте для повноцінного освоєння оперативних підходів необхідно доповнювати теоретичні матеріали практичними анатомічними розтинками, що забезпечуватиме унікальний ресурс для підготовки до складних хірургічних втручань [1]. Особливу зацікавленість для дослідників становлять варіанти черепа, які відображають значну географічну та расову варіативність, зумовлену як генетичними факторами, так і процесами нормального розвитку [2]. Морфологічне дослідження черепа та його утворів не лише розкриває еволюційну історію людства, а й підкреслює роль основи черепа як автономного центру росту всього черепно-лицевого комплексу [2, 3].

Привертають увагу дослідження спрямовані на дослідження черепно-лицевого статевого диморфізму починаючи з ранніх стадій онтогенезу [4]. Оскільки доступ до ембріонального матеріалу в багатьох регіонах обмежений, вивчення

анатомії плода та пренатальних впливів на морфологію утворів черепа зберігає статус пріоритетного завдання для запобігання тяжким вадам розвитку [5]. Оцінка кореляцій між черепно-лицевим фенотипом та генотипом на етапі внутрішньоутробного розвитку набуває дедалі більшого значення, попри суб'єктивність інтерпретації тривимірних даних [6]. Оскільки скелетна система плода розвивається динамічно, сучасна візуалізація за допомогою УЗД, КТ та МРТ дозволяє оцінювати центри окостеніння та виявляти патології на ранніх етапах [7, 8]. Пренатальне виявлення аномалій голови залишається одним із найскладніших завдань акушерського ультразвукового дослідження [6].

Слід також враховувати, що патологічні зміни та деформації у пацієнтів з асиметрією обличчя можуть поширюватися за межі лицевого скелета, охоплюючи основу та склепіння черепа [9]. Розуміння взаємозалежності структурних аномалій і загального черепно-лицевого комплексу є фундаментом для планування успішної реконструктивної терапії та покращення хірургічних результатів [10].

Мета дослідження: охарактеризувати особливості топографії та морфометричні параметри основних структур і утворів зовнішньої основи черепа, а також виявити варіанти, які можуть слугувати клінічними показниками відхилень у розвитку на основі літературних джерел.

Матеріал і методи. Для досягнення поставленої мети було опрацьовано наукову літературу та використано 38 сучасних наукових джерел більша частина з яких за останні 5-7 років, що підвищує наукову цінність та новизну даної роботи.

Формування та подальший ріст основи черепа перебувають у нерозривному зв'язку з розвитком головного мозку, виступаючи для нього структурною підтримкою та регуляторним чинником. Складна схема окостеніння цієї ділянки та її тісна взаємодія з мозковими структурами зумовлюють виникнення низки вроджених аномалій, таких як платибазія, мальформація Арнольда-Кіарі, агенезія мозолистого тіла тощо [8]. Важливою патологією розвитку є цефалоцеле – грижове випинання вмісту черепа через кісткові дефекти, що без належного лікування створює критичні ризики висхідних інфекцій та неврологічних ускладнень [11]. Уроджені аномалії та дефекти основи і склепіння черепа охоплюють надзвичайно широкий спектр патологій, які досить часто випадково виявляються у безсимптомних осіб. Зазвичай ключову роль у точній характеристиці таких станів та плануванні передопераційної підготовки відіграє радіологічна оцінка, яка дозволяє детально візуалізувати складну анатомію кісткових структур [12]. Зокрема, у ділянці голови та шиї нерідко виявляються внутрішньокісткові венозні мальформації, які часто локалізуються в ділянці основи черепа та в ділянці колінчастого ганглія лицевого нерва [13]. У зв'язку з цим, глибоке дослідження форми, розмірів та взаєморозташування отворів зовнішньої основи черепа є надзвичайно актуальним для встановлення клінічних кореляцій та вдосконалення хірургічних технік, а комплексна діагностика морфологічних параметрів отворів зовнішньої основи черепа є необхідною умовою для розуміння повної клінічної картини та вибору ефективної тактики лікування.

На відміну від склепіння, основа черепа демонструє більш тривалий та специфічний темп росту, на який суттєво впливає раннє формування черепних нервів і магістральних судин, що проходять крізь її отвори [8]. Основа черепа є багатофункціональною кістковою платформою, яка забезпечує підтримку для головного мозку та склепіння черепа вище, слугує сполучною ланкою між головою та першим шийним хребцем [2, 14], забезпечує підтримку та захист, а також слугує вхо-

дом і виходом для важливих судин та нервів [15]. Характер розвитку основи черепа тісно пов'язаний з ростом і розвитком головного мозку та кісток обличчя. Degani S et al. [14] рекомендують додати аксіальне зображення основи черепа до списку стандартних проєкцій під час звичайного пренатального сканування та при обстеженні вагітностей з високим ризиком супутніх аномалій плода.

Знання закономірностей розвитку черепно-лицевого апарату людини у внутрішньоутробному періоді є важливим для розуміння механізмів, що лежать в основі виникнення варіантів у черепно-лицевій морфології людини. Не дивлячись та значну кількість досліджень точний характер пренатального онтогенетичного розвитку людського черепа ще не повністю встановлений [16]. Процес окостеніння хрящового черепа людини починається в ембріональний період і включає приблизно 110 центрів окостеніння. Ці центри сприяють формуванню 45 кісток черепа у новонароджених, які поступово зростаються після народження, зрештою зменшуючи кількість черепних кісток до 22 у дорослих. Незважаючи на завершення первинного процесу окостеніння, залишки хрящової тканини все ще можна спостерігати в певних ділянках черепа, що свідчить про тривалий розвиток черепа, який відбувається приблизно до 20-річного віку [17].

Основа черепа відділяє нейрокраніум від вісцерокраніуму та називається хондрокраніумом, оскільки більшість цих кісток спочатку формуються у вигляді хрящів та окостенівають у процесі ендохондрального окостеніння. Більшість кісток обличчя та тім'яні кістки мають перетинчасте походження. Кістки склепіння швидко розширюються завдяки росту головного мозку, однак основа черепа є менш податливою. Ранній зв'язок черепних нервів, кровоносних судин і спинного мозку від їхнього витоку до місця призначення підтримується завдяки відносній стабільності основи черепа [15].

За даними Nemzek WR et al. [15] центральна частина основи черепа попередньо формується з хряща, а процеси окостеніння відбуваються в напрямку від задньої до передньої частини. Розвиток основи черепа починається тільки після формування спинного мозку, черепних нервів і кровоносних судин. Основа черепа є відносно стабільною під час розвитку порівняно з швидким збільшенням і розширенням інших ділянок черепа.

Хондрокраніум вважається основною формою в плануванні черепної морфології, яка відіграє роль тимчасового каркасу для подальшого росту перетинчастих кісток для підтримки мозку та інших органів чуття. Оскільки людський череп

має дуже складну форму, яка містить різні структури, органи та м'язи, з'ясування морфогенезу людського черепа вимагає багатостороннього підходу із застосуванням сучасних та традиційних методів досліджень, які допоможуть детальніше зрозуміти морфогенез людського черепа [18].

Основа черепа демонструє захоплену морфологічну мінливість, що представляє значний нейрохірургічний інтерес [19, 20]. З анатомічної точки зору, основа людського черепа поділяється на три основні черепні ямки: передню, задню та середню. Кожна ямка містить отвори, чи канали, через які проходять важливі судини та нерви [21].

У своїх дослідженнях Lee SK et al. [22] відмічають, що пропорційність росту передньої, середньої та задньої черепних ямок можна оцінити за кутами навколо центру гіпофізної ямки та за переднім, середнім та заднім кутами основи черепа. Передній кут основи черепа – відносно постійний упродовж фетального періоду, тоді як середній кут основи черепа поступово збільшується, а задній кут основи черепа зменшується. Зі збільшенням гестаційного віку горизонтальна площа середньої частини обличчя швидко збільшується, на відміну від площі трапецієподібної ділянки верхньої щелепи, ділянки потиличного трикутника основи черепа або ділянки великого потиличного отвору.

Середня черепна ямка – одна з найскладніших ділянок нейрохірургії та отоларингології, фактично, практика хірургії основи черепа виникла з потреби лікувати патології в цій ділянці. Окрім того, багато великих нейрохірургів нашої сучасності та минулого запам'яталися своїми унікальними методами лікування захворювань у межах середньої черепної ямки. Середня черепна ямка містить скроневу частку головного мозку, турецьке сідло, печеристу пазуху, межує зі стовбуром мозку тощо. Її дно включає важливі судинно-нервові утворення та відокремлює вушний апарат та підскроневу ямку від внутрішньочерепного простору. Наявність численних каналів, отворів, борозен, а також різноманітних оболонних складок в ділянці середньої черепної ямки створює складну анатомію досконале знання яких має вирішальне значення для безпечного та ефективного хірургічного дослідження середньої черепної ямки [21].

Клиноподібна кістка є важливою кістковою структурою, яка діє як ключовий камінь у архітектурі черепа, забезпечуючи структурну цілісність, створюючи проходи та простори для життєво важливих утворень [23]. Завдяки своєму центральному розташуванню в основі черепа та семи складовим, клиноподібна кістка бере участь у формуванні всіх внутрішніх (передня, середня та задня черепні

ямки) та зовнішніх (скронева, підскронева та крилопіднебінна ямки, очна ямка, носова порожнина) топографічних елементів. Вона складається з тіла клиноподібної кістки та трьох пар відростків, які називаються малими крилами, великими крилами та крилоподібними відростками, які розвиваються з окремих окостенінь [18]. Клиноподібна кістка характеризується численними варіативними особливостями, такими як отвори та канали, які можуть бути задіяні в багатьох нейрохірургічних процедурах.

Оскільки клиноподібна кістка змінює форму та розмір під час розвитку в постнатальний період, є характерною зміна морфології кісткових отворів, яка особливо виражена в період до окостеніння. Анатомічні варіанти форми та розмірів отворів клиноподібної кістки є досить поширеними, тому детальний анатомічний аналіз розвитку та анатомії основи черепа має велике значення для безпечних нейрохірургічних та терапевтичних маніпуляцій. Зокрема, різноманітність отворів клиноподібної кістки, їх розмір і форми в різних регіонах світу пояснюється варіативністю населення [24].

Велике крило клиноподібної кістки містить три основні отвори (круглий, овальний та остистий), а також декілька менших, непостійних отворів. Ці отвори пропускають важливі судини та нерви ділянки основи черепа і тому дані про них можуть бути клінічно важливими при черепних патологіях та хірургічних втручаннях [25].

Круглий отвір є важливим анатомічним утвором великого крила клиноподібної кістки, через який проходить друга гілки трійчастого нерва (верхньощелепний нерв) з порожнини черепа у крилопіднебінну ямку [26]. Детальне знання анатомії, топографії та морфометрії круглого отвору є важливим в нейрохірургії для безпечного проведення хірургічних втручань на основі черепа і запобігання пошкодженню судинно-нервових утворень [27].

Круглий отвір розташований з присереднього боку від овального отвору, його топографічні співвідношення з прилеглими структурами мають значення для ендоскопічних розширених підходів до внутрішньої основи черепа. Важливими суміжними структурами є клиноподібна пазуха та крилоподібний канал. У радіологічних дослідженнях розташування круглого отвору по відношенню основи бічної пластинки крилоподібного відростка клиноподібної кістки у 50% випадків було визначено на одній лінії, також досить часто його описують як круглий канал. Відомо, що круглий отвір, як й інші отвори клиноподібної кістки, змінює свою форму та розмір упродовж постнатального

розвитку [28]. Середні розміри круглого отвору, за даними комп'ютерної томографії, у дорослих становлять приблизно: довжина $2,41 \pm 0,49$ мм, ширина $2,40 \pm 0,55$ мм, середня площа $4,58 \pm 1,49$ мм² [29]. Відстань від правого круглого отвору до середньої лінії становить приблизно $19,00 \pm 2,07$ мм та лівого – $19,34 \pm 2,17$ мм [28]. В той же час за літературними даними статистично значущої різниці між лівою та правою сторонами зазвичай не виявляють, хоча морфологічні варіанти форми, розміру та розташування спостерігаються. Виділяють також особливості круглого отвору відповідно до його розташування відносно клиноподібної пазухи: круглий отвір повністю розміщений в порожнині пазухи; отвір частково виступає в порожнину пазухи; отвір дотикається до стінки пазухи; отвір повністю відкривається на мозковій поверхні клиноподібної кістки [26].

Анатомія круглого отвору має важливе клінічне значення, зокрема в лікуванні невралгії трійчастого нерва [26]. Круглий отвір є цільовим об'єктом для черезшкірної радіочастотної термокоагуляції, що використовується для лікування ізольованої невралгії другої гілки трійчастого нерва [27]. Також в деяких дослідженнях прослідковується зв'язок між морфологічними варіантами круглого отвору та невралгії трійчастого нерва: пацієнти з даною патологією мали менші розміри круглого отвору, що підкреслює потенційні анатомічні фактори у патогенезі захворювання [26].

Овальний отвір розташований у задній частині великого крила клиноподібної кістки, позаду та збоку від круглого отвору, попереду та присередньо від остистого отвору та з бічного боку від рваного отвору. Він сполучає середню черепну ямку з підскроневою ямкою, через нього проходить нижньощелепний нерв, малий кам'янистий нерв, додаткова оболонна артерія, емісарні вени тощо. Його розташування робить його важливим під час різних діагностичних та терапевтичних процедур, зокрема, під час анестезії нижньощелепного нерва, ризотомії трійчастого нерва (для лікування невралгії трійчастого нерва), черезшкірної біопсії новоутворень в ділянці внутрішньої основи черепа, чи інших хірургічних втручань [30].

Овальний отвір може мати різну форму, таку як овальна, кругла, мигдалеподібна, краплеподібна. Такі можливі варіації отвору слід враховувати, оскільки, він досить часто слугує вирішальним орієнтиром під час хірургічних та діагностичних процедур. Також форма овального отвору в черепі людини може змінюватися та включати кісткові виступи, які можуть впливати на структури, що проходять через нього [31].

Somesh MS et al. [32] під час дослідження проведеного на загальній кількості 82 сухих дорослих черепа (164 сторони) виявили різні форми овального отвору; з 93 сторін черепів овальні отвори мали типову овальну форму (48 праворуч, 45 ліворуч), у 47 випадках мигдалеподібну (24 праворуч, 23 ліворуч), у 18 випадках круглу (8 праворуч, 10 ліворуч) і у 6 випадках неправильну (2 праворуч, 4 ліворуч). Овальна форма овального отвору спостерігалася в 25 випадках з обох боків, тоді як двостороння мигдалеподібна форма спостерігалася в 12 випадках, а частота овальної, мигдалеподібної, круглої та нерегулярної форми овального отвору, становила відповідно 56,70%, 28,65%, 10,97% та 3,65%. Середня довжина овального отвору становила $7,64 \pm 1,194$ мм з правого боку та $7,561 \pm 1,123$ мм з лівого боку, середня ширина з правого боку становила $5,128 \pm 0,827$ мм та $5,244 \pm 0,950$ мм з лівого боку.

Šink Ž et al. [30] під час комплексного морфометричного та морфологічного аналізу овального отвору за якого було праналізовано 267 овальних отворів черепів, отриманих від померлих мешканців словенської території, відмітили, що середня довжина та ширина овального отвору становили 7,13 мм та 3,71 мм з правого боку та 7,20 мм та 3,88 мм з лівого боку. Найчастіше спостерігалася овальна (37,1%), далі йшли мигдалеподібна (28,1%), неправильна (21,0%), D-подібна (4,5%), кругла (3,0%), грушоподібна (1,9%), ниркоподібна (1,5%), видовжена (1,5%), трикутна (0,7%) та щілоподібна (0,7%). Крім того, було відзначено крайові вирости (16,6%) та кілька анатомічних варіантів, включаючи подвоєння, злиття та обструкцію через повну (5,6%) або неповну (8,2%) крилоостисту перегородку.

Існують деякі дослідження, які вказують на аномальну морфологію овального отвору, зокрема, іноді він може бути покритий окостенілими зв'язками, що простягаються між бічною пластинкою крилоподібного відростка та клиноподібною остю, або ж його венозна частина може бути розділена кістковим відростком, розташованим передньо-присередньо, що призводить до подвоєння овального отвору. В одному з досліджень описано поділ овального отвору на 2 або 3 частини у 4,5% з 100 досліджених мацерованих черепів з деякими відхиленнями [32].

Анатомічні варіанти овального отвору є поширеним явищем, яке може ускладнювати хірургічний доступ до цієї ділянки, тому структурні характеристики овального отвору мають важливе клінічне значення. Крім того, аномальна анатомія овального отвору має тісний етіологічний

зв'язок з певними патологіями. Наприклад, стиснення нижньощелепного нерва в цій ділянці аномальними формами або кістковими наростами може призвести до розвитку невралгії трійчастого нерва [30].

Ще один важливий отвір середньої черепної ямки – остистий отвір. Він має переважно круглу форму, розташований у великому крилі клиноподібної кістки, з бічного боку від овального отвору та передньо-присередньо від ості клиноподібної кістки. Остистий отвір – вперше описаний Якобом Бенігнусом Вінслоу (Jakob Benignus Winslow, 1669-1760) у 18 столітті, його діаметр становить близько 1 мм (0,5-2,0 мм), названий на честь невеликого остистого відростка, розташованого позаду нього на зовнішній поверхні основи черепа, відомого як ость клиноподібної кістки [21]. В свою чергу цей отвір сполучає середню черепну ямку з підскроневою ямкою, а також через нього проходять середня оболонна артерія, середня оболонна вена, яка з'єднує печеристу пазуху з крилоподібним венозним сплетенням, та оболонна гілка нижньощелепного нерва (остистий нерв) [25]. Зазвичай остистий отвір знаходиться на відстані 5,0 мм від овального отвору (діапазон 2,0-7,5 мм) із задньобічного боку та на 25,0 мм (діапазон 17,8-33,1 мм) присередньо від бічного краю середньої черепної ямки [21].

Остистий отвір досить часто використовується як анатомічний орієнтир у нейрохірургічних процедурах та нейровізуалізації середньої черепної ямки через його зв'язок з іншими черепними отворами, навколишніми судинними та нервами [33]. Також розташування остистого отвору робить його корисним для багатьох діагностичних та терапевтичних процедур, особливо ендovasкулярній емболізації дуральних артеріовенозних фістул та менінгіом через середню оболонну артерію [25]. Отже, конкретні знання про його топографію та можливі анатомічні варіанти є важливими щодо деяких хірургічних втручань та візуалізації черепа.

За літературними даними спостерігаються відмінності у формі, діаметрі та топографії остистого отвору відносно овального отвору та ості клиноподібної кістки, в одному з досліджень відмічено його розташування у бічній пластинці крилоподібного відростка клиноподібної кістки. За розмірами остистий отвір менший за овальний отвір, найпоширенішими є кругла та овальна форми остистого отвору (42,1% та 32,8% відповідно), рідше зустрічаються краплеподібна (12,5%) та неправильної форми (12,5%) [33].

За даними Šink Ž et al. [25] середня довжина та ширина остистого отвору становить $2,45 \pm 0,65$ мм

та $2,03 \pm 0,53$ мм з правого боку, $2,49 \pm 0,61$ мм та $2,08 \pm 0,48$ мм з лівого боку. Часто спостерігається кругла форма (56,7%), далі овальна (28,2%), неправильна (8,7%) та краплеподібна (6,3%). Також виявляються анатомічні варіанти, включаючи подвоєння остистого отвору, злиття з іншими отворами та обструкція через крайові кісткові вирости.

Значна варіабельність розмірів та форми остистого отвору у різних популяціях людей може бути пов'язана з впливом генетичної різноманітності та складний ембріологічний розвиток клиноподібної кістки, що включає поєднання внутрішньомембранних та ендохондральних процесів осифікації. Окостеніння остистого отвору починається приблизно через 8 місяців після народження і може тривати до 7 років. Аномальні анатомічні конфігурації остистого отвору можуть бути пов'язані з неповним остеогенезом рваного отвору, кам'янисто-клиноподібного з'єднання або клиноподібно-лускатого шва. Надмірне окостеніння під час процесу розвитку клиноподібної кістки, може призвести до морфологічних аномалій остистого отвору, таких як кісткові шипи, горбки, пластинки та перетинки, що може перешкоджати хірургічним підходам та стискати середні оболонні судини і нерви, а отже, призводити до головного болю та інших клінічних ускладнень [25].

Висока поширеність варіантів будови остистого отвору вимагає особливої уваги під час хірургічних втручань у ділянці основи черепа, щоб уникнути нещасних випадків та післяопераційних ускладнень. Точна оцінка анатомічних варіантів остистого отвору має вирішальне значення, оскільки він забезпечує важливу точку відліку для різних нейроваскулярних хірургічних процедур у середній черепній та підскроневої ямках. Повне розуміння топографії остистого отвору та його зв'язку з навколишніми структурами може допомогти в хірургічних підходах до лікування травматичних пошкоджень середньої черепної ямки та у випадках коли дослідження отвору може бути необхідним для досягнення належного гемостазу [25, 34, 35].

Дослідження овального, остистого та інших отворів матиме не лише анатомічне значення, але й діагностичне та хірургічне значення, зокрема, при невралгії трійчастого нерва, пухлинах та різних типах епілепсії, тонкогілкової аспіраційній біопсії, периневральному поширенні пухлини, електроенцефалографічному аналізі у випадку судом. Нині доступні лише поодинокі повідомлення про варіанти овального отвору та остистого, чи інших отворів основи черепа [36].

Також привертає увагу наявність додаткових отворів в ділянці основи черепа. Зокрема, George

Triantafyllou et al. [20] у своєму дослідженні повідомляють про варіант додаткового клиноподібного отвору середньої черепної ямки, виявлений під час комп'ютерної томографії, який відкривався в підскроневу ямку. Отвір розташовувався позаду від круглого отвору та попереду від овального отвору.

Palamenghi A. et al. [23] вивчаючи триста щелепно-лицевих комп'ютерних томограм пацієнтів лікарні (the FatebeneFratelli hospital in Milan, Italy) описали менінгоорбітальний отвір, отвір Везалія, безіменний каналець та піднебінно-підхвовий канал, а також їх взаємозв'язок і кореляцію між отвором Везалія та безіменним каналцем. Ця тема особливо важлива в хірургічних процедурах на основі черепа, які можуть включати лікування пухлини. Також автори відмічають, що літературні відомості переважно зосереджені на повідомленнях про поширеність кожного анатомічного варіанту, без аналізу можливих кореляційних зв'язків між ними.

Безіменний каналець (Canaliculus innominatus of Arnold), також відомий як кам'янистий отвір або отвір Арнольда – це невеликий отвір, який подеколи виявляється між овальним та остистим отворами, через нього проходить малий кам'янистий нерв. Зокрема, вчені згадують, що малий кам'янистий нерв перетинає дно середньої ямки попереду великого кам'янистого нерва та виходить із середньої ямки через безіменний каналець у 70% (14/20) випадків, де був присутній даний каналець [21].

Отвір Везалія (foramen Vesalii) – це мінлива анатомічна структура, розташована передньо-присередньо від овального отвору, що слугує каналом для випускної вени, яка з'єднує крилоподібне венозне сплетення з печеристою пазухою. Поширеність цього отвору в популяції варіабельна (від 5% до 60%), проте його наявність створює потенційний шлях для поширення септичної інфекції з позачерепних вен до венозних пазух твердої оболони головного мозку. Також ця структура привертає увагу під час лікування невралгії трійчастого нерва, оскільки при використанні трансвального доступу існує ризик випадкового введення голки саме в отвір Везалія, що може призвести до пункції печеристої пазухи, наслідком якої може стати масивна внутрішньочерепна кровотеча. З огляду на ці ризики, надзвичайно важливо ретельно аналізувати передопераційні зображення, щоб чітко диференціювати отвір Везалія від овального чи круглого отворів і запобігти ятрогенним ускладненням [21]. Хоча наявність не постійних отворів може бути спорадичною, знання про такі варіанти важливо враховувати перед процедурами на осно-

ві черепа, зокрема, з метою попередження неправильної клінічної інтерпретації даних [9, 37].

Сонний канал – це ще один із важливих утворів основи черепа, розташований у кам'янистій частині скроневої кістки, під дном середньої черепної ямки; через нього проходить внутрішня сонна артерія разом із симпатичним нервовим сплетенням та венозною мережею навколо артерії. Зовнішній отвір сонного каналу досить часто використовується як орієнтир під час магнітно-резонансної томографії та цифрової субтракційної ангиографії, через що його розташування, форма та кут нахилу в межах основи черепа стають дедалі важливішою ділянкою. Точні морфометричні дані зовнішнього отвору сонного каналу є критично важливими для хірургічної реконструкції при його агенезії, стенозі, переломах, а також для безпечного лікування аневризм і пухлин прилеглих структур. Окрім клінічного значення, ці параметри необхідні для топографо-анатомічної оцінки взаєморозташування каналу з яремним та остистим отворами під час планування хірургічних втручань на основі черепа [38].

Під час своїх досліджень Özalp H et al. [38] відмітили, що зовнішній отвір сонного отвору має переважно круглу форму (62,5%), рідше овальну (32,5%) та подекуди краплеподібну (5%). Щодо морфометричних значень площі поверхні, довжини та ширини зовнішнього отвору сонного каналу, ці дані становили відповідно $37,86 \pm 11,24$ мм², $8,02 \pm 1,09$ мм та $6,86 \pm 0,90$ мм при прямих анатомічних вимірюваннях та $39,69 \pm 10,07$ мм², $7,89 \pm 1,14$ мм та $6,41 \pm 0,90$ мм при КТ.

Довжина сонного каналу становить 16-20 мм, товщина кістки дна середньої черепної ямки на верхівці сонного каналу є змінною, але зазвичай вона зменшується вздовж внутрішньої сонної артерії вперед. Варто відмітити, що дно середньої ямки може бути розкрите над внутрішньою сонною артерією. Отже, оцінка передопераційних КТ-зображень є критично важливою для визначення індивідуальних варіантів з метою захисту внутрішньої сонної артерії під час свердління в межах трикутників Каваса та/або Гласкока (Kawase and/or Glasscock triangles) [21].

Незважаючи на тривалу історію досліджень, дані про пре- та постнатальний розвиток окремих елементів, зокрема кісткових утворів зовнішньої основи черепа, залишаються фрагментарними, що обмежує розробку нових хірургічних доступів [24]. Детальне дослідження отворів зовнішньої основи черепа може надати додаткові відомості про морфологію черепа шляхом оцінки топографічних та морфометричних зв'язків між отворами черепа та

співвідношення результатів з клінічною практикою [33]. Важливо проаналізувати варіанти розташування, розміри, форми та співвіднести отримані результати з літературними даними та з клінічною практикою. Глибокі анатомічні знання та належне передопераційне планування значно мінімізують ризик пошкодження нейроваскулярних структур, що проходять через отвори та канали черепа [37].

Висновок. Морфогенез кісток черепа є складним процесом і попри значний масив наукових праць, відомості про пре- та постнатальне формування окремих структур і утворів зовнішньої основи черепа все ще мають фрагментарний та не систематизований характер. Відсутність точних морфометричних даних, детальних відомостей про топографію і синтопію кісткових отворів та каналів зовнішньої основи черепа в онтогенезі

значно стримує вдосконалення та впровадження нових нейрохірургічних технологій.

Перспективи подальших досліджень полягають у дослідженні аспектів розвитку утворень зовнішньої основи черепа шляхом проведення цілісного макроскопічного та морфометричного аналізу з метою виявлення вікових і статевих закономірностей. Хоча більшість наукових досліджень до тепер зосереджувалися на постнатальному лікуванні, на сьогоднішній день з'являється можливість виправлення деяких дефектів пренатально. Перспектива раннього втручання може запобігти або зменшити весь спектр розладів центральної нервової системи та пов'язаних з ними вроджених аномалій, що дає нову надію як на діагностику, так і на лікування, однак, для цього необхідно значний багаж знань.

Список використаної літератури

1. Graffeo CS, Perry A, Carlstrom LP, Leonel L, Nguyen BT, Morris JM, Driscoll CLW, Link MJ, Peris-Celda M. Anatomical Step-by-Step Dissection of Complex Skull Base Approaches for Trainees: Surgical Anatomy of the Far Lateral Approach. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2022 Mar 8;84(2):170-82. doi: 10.1055/a-1760-2528. PMID: 36895809; PMCID: PMC9991529.
2. Rengasamy Venugopalan S, Van Otterloo E. The Skull's Girder: A Brief Review of the Cranial Base. *J Dev Biol*. 2021 Jan 23;9(1):3. doi: 10.3390/jdb9010003. PMID: 33498686; PMCID: PMC7838769
3. Hallett SA, Ono W, Franceschi RT, Ono N. Cranial Base Synchondrosis: Chondrocytes at the Hub. *Int J Mol Sci*. 2022 Jul 15;23(14):7817. doi: 10.3390/ijms23147817. PMID: 35887171; PMCID: PMC9317907.
4. Syutkina T, Anikin A, Satanin L, Evteev A. Sexual dimorphism in human midfacial growth patterns from newborn to 5 years old based on computed tomography. *J Anat*. 2023 Feb;242(2):132-45. doi: 10.1111/joa.13776. Epub 2022 Oct 8. PMID: 36208113; PMCID: PMC9877485.
5. Kaiser M, Zikmund T, Vora S, Metscher B, Adameyko I, Richman JM, Kaiser J. 3D atlas of the human fetal chondrocranium in the middle trimester. *Sci Data*. 2024 Jun 13;11(1):626. doi: 10.1038/s41597-024-03455-1. PMID: 38871782; PMCID: PMC11176318.
6. Matthew J, Uus A, Egloff Collado A, Luis A, Arulkumaran S, Fukami-Gartner A, Kyriakopoulou V, et al. Automated craniofacial biometry with 3D T2w fetal MRI. *PLOS Digit Health*. 2024 Dec 30;3(12): e0000663. doi: 10.1371/journal.pdig.0000663. PMID: 39774200; PMCID: PMC11684610.
7. Kumar R, Harode HA, Vora R, Javia M. Variations in the shape of foramen magnum at the base of human skulls among Indians in Rajasthan. *Bioinformatics*. 2022 May 31;18(5):488-91. doi: 10.6026/97320630018488. PMID: 36945222; PMCID: PMC10024773.
8. Grzonkowska M, Baumgart M, Szpinda M. Quantitative study of the ossification centers of the body of sphenoid bone in the human fetus. *Sci Rep*. 2024 Jun 12;14(1):13522. doi: 10.1038/s41598-024-64550-2. PMID: 38866900; PMCID: PMC11169516.
9. Nishimura M, Tachiki C, Morikawa T, Ariizumi D, Matsunaga S, Sugahara K, Aihara Y, et al. Cranial Vault Deformation and Its Association with Mandibular Deviation in Patients with Facial Asymmetry: A CT-Based Study. *Diagnostics (Basel)*. 2025 Jul 3;15(13):1702. doi: 10.3390/diagnostics15131702. PMID: 40647701; PMCID: PMC12248431.
10. Richtsmeier JT, DeLeon VB. Morphological integration of the skull in craniofacial anomalies. *Orthod Craniofac Res*. 2009 Aug;12(3):149-58. doi: 10.1111/j.1601-6343.2009.01448.x. PMID: 19627516; PMCID: PMC2804975.
11. Settecase F, Harnsberger HR, Michel MA, Chapman P, Glastonbury CM. Spontaneous lateral sphenoid cephaloceles: anatomic factors contributing to pathogenesis and proposed classification. *AJNR Am J*

- Neuroradiol.* 2014 Apr;35(4):784-9. doi: 10.3174/ajnr.A3744. Epub 2013 Oct 3. PMID: 24091443; PMCID: PMC7965830.
12. Wang W, Patel J. Imaging of congenital anomalies and defects of the skull base and calvarium. *Br J Radiol.* 2024 May 7;97(1157):902-12. doi: 10.1093/bjr/tqae042. PMID: 38478401; PMCID: PMC11075995.
13. Strauss SB, Steinklein JM, Phillips CD, Shatzkes DR. Intraosseous Venous Malformations of the Head and Neck. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2022 Aug;43(8):1090-8. doi: 10.3174/ajnr.A7575. Epub 2022 Jul 21. PMID: 35863785; PMCID: PMC9575427.
14. Degani S, Leibovitz Z, Shapiro I, Gonen R, Ohel G. Ultrasound evaluation of the fetal skull base throughout pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2002 May;19(5):461-6. doi: 10.1046/j.1469-0705.2002.00639.x. PMID: 11982978.
15. Nemzek WR, Brodie HA, Hecht ST, Chong BW, Babcook CJ, Seibert JA. MR, CT, and plain film imaging of the developing skull base in fetal specimens. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2000 Oct;21(9):1699-706. PMID: 11039353; PMCID: PMC8174876.
16. Morimoto N, Ogihara N, Katayama K, Shiota K. Three-dimensional ontogenetic shape changes in the human cranium during the fetal period. *J Anat.* 2008 May;212(5):627-35. doi: 10.1111/j.1469-7580.2008.00884.x. PMID: 18430090; PMCID: PMC2409084.
17. Grzonkowska M, Kulakowski M, Baumgart M. Computed Tomography-Based Morphometric Analysis of Ossification Centers of Lesser Wings of Sphenoid Bone in Human Fetuses. *Brain Sci.* 2025 May 23;15(6):558. doi: 10.3390/brainsci15060558. PMID: 40563730; PMCID: PMC12190233.
18. Utsunomiya N, Katsube M, Yamaguchi Y, Yoneyama A, Morimoto N, Yamada S. The first 3D analysis of the sphenoid morphogenesis during the human embryonic period. *Sci Rep.* 2022 Mar 28;12(1):5259. doi: 10.1038/s41598-022-08972-w. Erratum in: *Sci Rep.* 2023 Apr 24;13(1):6660. doi: 10.1038/s41598-023-33506-3. PMID: 35347174; PMCID: PMC8960892.
19. Derkowski W, Kędzia A, Dudek K, Glonek M. Morphometric evaluation of the anterior cranial fossa during the prenatal stage in humans and its clinical implications. *PLoS One.* 2024 Dec 27;19(12): e0309184. doi: 10.1371/journal.pone.0309184. Erratum in: *PLoS One.* 2025 Mar 25;20(3): e0321125. doi: 10.1371/journal.pone.0321125. PMID: 39729454; PMCID: PMC11676864.
20. Triantafyllou G, Papadopoulos-Manolarakis P, Olewnik Ł, Duparc F, Tsakotos G, Zielinska N, Piagkou M. An accessory sphenoidal foramen of the middle cranial fossa detected on computed tomography. *Surg Radiol Anat.* 2025 Mar 10;47(1):89. doi: 10.1007/s00276-025-03601-3. PMID: 40063286; PMCID: PMC11893693.
21. Tayebi Meybodi A, Mignucci-Jiménez G, Lawton MT, Liu JK, Preul MC, Sun H. Comprehensive microsurgical anatomy of the middle cranial fossa: Part I-Osseous and meningeal anatomy. *Front Surg.* 2023 Mar 24;10:1132774. doi: 10.3389/fsurg.2023.1132774. PMID: 37035561; PMCID: PMC10080110.
22. Lee SK, Kim YS, Jo YA, Seo JW, Chi JG. Prenatal development of cranial base in normal Korean fetuses. *Anat Rec.* 1996 Dec;246(4):524-34. doi: 10.1002/(SICI)1097-0185(199612)246:4<524::AID-AR11>3.0.CO;2-Q. PMID: 8955791.
23. Palamenghi A, Cellina M, Cè M, Cappella A, Sforza C, Gibelli D. Correlation Analysis on Anatomical Variants of Accessory Foramina in the Sphenoid Bone for Oncological Surgery. *Cancers (Basel).* 2023 Nov 9;15(22):5341. doi: 10.3390/cancers15225341. PMID: 38001601; PMCID: PMC10670589.
24. Raguž M, Dumić-Čule I, Almahariq F, Romić D, Gajski D, Blažević A, Predrijevac N, et al. Foramen ovale and foramen rotundum: characterization of postnatal development. *Acta Clin Croat.* 2022 Feb;60(3):415-22. doi: 10.20471/acc.2021.60.03.11. PMID: 35282494; PMCID: PMC8907938.
25. Šink Ž, Umek N, Cvetko E. Morphometric and morphologic analysis of the foramen spinosum in the Slovenian population with clinical correlations. *Peer J.* 2023 Dec 19;11: e16559. doi: 10.7717/peerj.16559. PMID: 38144180; PMCID: PMC10740660.
26. Ismail EE, Alaftan MS, Aljoaid RM, Al Musabeh FM, Alaidarous SM, Alsultan DH, Alammari MA, et al. Association Between Foramen Rotundum and Trigeminal Neuralgia in the Saudi Population: A Radiological Study. *Cureus.* 2024 Jan 9;16(1): e51932. doi: 10.7759/cureus.51932. PMID: 38333439; PMCID: PMC10851806.
27. Wang R, Han Y, Lu L. Computer-Assisted Design Template Guided Percutaneous Radiofrequency Thermocoagulation through Foramen Rotundum for Treatment of Isolated V2 Trigeminal Neuralgia:

- A Retrospective Case-Control Study. Pain Res Manag.* 2019 Mar 3;2019:9784020. doi: 10.1155/2019/9784020. PMID: 30944688; PMCID: PMC6421735.
28. Mohebbi A, Rajaeih S, Safdarian M, Omidian P. The sphenoid sinus, foramen rotundum and vidian canal: a radiological study of anatomical relationships. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2017 Jul-Aug;83(4):381-7. doi: 10.1016/j.bjorl.2016.04.013. Epub 2016 May 24. PMID: 27283380; PMCID: PMC9442688.
29. Bhattarai R, Panthi S, Yadav GK, Bhandari S, Acharya R, Sharma A, Shah PK, et al. Morphometric analysis of foramen ovale, foramen spinosum, and foramen rotundum of human skull using computed tomography scan: a cross-sectional study. *Ann Med Surg (Lond).* 2023 Apr 11;85(5):1731-6. doi: 10.1097/MS9.0000000000000609. PMID: 37228912; PMCID: PMC10205317.
30. Šink Ž, Umek N, Alibegović A, Cvetko E. Sphenoidal Foramen Ovale in the Slovenian Population: An Anatomical Evaluation with Clinical Correlations. *Diagnostics (Basel).* 2023 Mar 3;13(5):962. doi: 10.3390/diagnostics13050962. PMID: 36900106; PMCID: PMC10000548.
31. Alaftan M, Alkhater S, Alhaddad F, Alfaraj A, Alrashed N, Hiware S, Alghnimi I, et al. Morphological variations and morphometry details of the foramen ovale in the Saudi population: a retrospective radiological study. *J Med Life.* 2023 Mar;16(3):458-62. doi: 10.25122/jml-2022-0265. PMID: 37168294; PMCID: PMC10165518.
32. Somesh MS, Sridevi HB, Prabhu LV, Swamy MS, Krishnamurthy A, Murlimanju BV, Chettiar GK. A morphometric study of foramen ovale. *Turk Neurosurg.* 2011;21(3):378-83. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.3927-10.2. PMID: 21845575.
33. Sugano GT, Pauris CC, Silva YBE, Pandini FE, Palermo RBS, Buchaim DV, Buchaim RL, et al. Topographic and Morphometric Study of the Foramen Spinosum of the Skull and Its Clinical Correlation. *Medicina (Kaunas).* 2022 Nov 28;58(12):1740. doi: 10.3390/medicina58121740. PMID: 36556942; PMCID: PMC9785582.
34. Ellwanger JH, Campos Dd. Abnormality of the Foramen Spinosum due to a Variation in the Trajectory of the Middle Meningeal Artery: A Case Report in Human. *J Neurol Surg Rep.* 2013 Dec;74(2):73-6. doi: 10.1055/s-0033-1347901. Epub 2013 May 23. PMID: 24294564; PMCID: PMC3836884.
35. Krayenbühl N, Isolan GR, Al-Mefty O. The foramen spinosum: a landmark in middle fossa surgery. *Neurosurg Rev.* 2008 Oct;31(4):397-401; discussion 401-2. doi: 10.1007/s10143-008-0152-6. Epub 2008 Aug 2. PMID: 18677523.
36. Khairnar KB, Bhusari PA. An anatomical study on the foramen ovale and the foramen spinosum. *J Clin Diagn Res.* 2013 Mar;7(3):427-9. doi: 10.7860/JCDR/2013/4894.2790. Epub 2013 Mar 1. PMID: 23634389; PMCID: PMC3616549.
37. Murlimanju BV, Chettiar GK, Krishnamurthy A, Pai MM, Saralaya VV, Prabhu LV, Vadgaonkar R. The Paracondylar Skull Base: Anatomical Variants and Their Clinical Implications. *Turk Neurosurg.* 2015;25(6):844-9. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.11850-14.1. PMID: 26617131.
38. Özalp H, Beger O, Erdoğan O, Koç T, Kayan G, Hamzaoğlu V, Kara E, et al. Morphometric Assessment of the Carotid Foramen for Lateral Surgical Approach. *J Int Adv Otol.* 2019 Aug;15(2):222-8. doi: 10.5152/iao.2019.6154. PMID: 31347511; PMCID: PMC6750789.

MODERN INFORMATION ON THE MORPHOGENESIS OF THE STRUCTURES AND FORMATIONS OF THE EXTERNAL SKULL BASE DURING ONTOGENESIS AND THEIR PRACTICAL SIGNIFICANCE

Abstract. A morphological study of the skull and its structures not only reveals the evolutionary history of humanity but also highlights the role of the skull base as an autonomous center of growth for the entire craniofacial complex. Despite a long history of scientific research, data on the pre- and postnatal development of individual elements, particularly the bone structures of the external skull base, remain fragmentary, which limits the development of new surgical approaches. The external cranial base demonstrates a more prolonged and specific growth rate, which is significantly influenced by the early formation of cranial nerves and major vessels passing through its openings. A detailed study of the foramina of the external cranial base can provide additional insights into cranial morphology by assessing the topographic and morphometric relationships between the cranial foramina and correlating the results with clinical practice. It is essential to analyze variations in location, size, and shape, and to compare the results with published data and clinical practice. Detailed

knowledge and proper preoperative planning significantly minimize the risk of damage to neurovascular structures passing through the foramina and canals of the skull. The study of typical and accessory foramina of the external skull base will have not only anatomical significance but also diagnostic and surgical significance, particularly in cases of trigeminal neuralgia, tumors, and various types of epilepsy, fine-needle aspiration biopsy, perineural tumor spread, electroencephalographic analysis in cases of seizures, etc.

Key words: anatomy, morphogenesis, structure, foramen, bone, external skull base, human.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність потенційного чи фактичного конфлікту інтересів.

Відомості про авторів:

Латинський Микола Едуардович – аспірант кафедри анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0462-9605>;

Лаврів Леся Петрівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0350-1201>.

Information about the authors:

Latynskiy Mykola E. – Postgraduate of the Department of Anatomy, Clinical anatomy and Operative Surgery of the Institutions of higher education of Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0462-9605>;

Lavriv Lesia P. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery of the Institutions of higher education of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0350-1201>.



Дата першого надходження рукопису до видання: 21.01.2026 р.
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.02.2026 р.

Дата публікації: 26.03.2026 р.