

УДК 611.976-053.13

DOI: 10.24061/1727-0847.24.3.2025.45

І. Г. Бірюк, Т. В. Хмара*, І. Л. Куковська, І. В. Марценяк, Н. В. Безкровна***, В. І. Стефанчук**
*Кафедри медицини катастроф та військової медицини (зав. – доц. І. Г. Бірюк); *анатомії людини імені М. Г. Туркевича (зав. – проф. В. В. Кривецький) закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету МОЗ України; **кафедра терапії, реабілітації та здоров'язбережувальних технологій (зав. – проф. Л. Г. Доцюк) Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича; ***комунальне некомерційне підприємство «Міська поліклініка № 3» Чернівецької міської ради, м. Чернівці*

СУЧАСНІ ПОГЛЯДИ НА ПРЕНАТАЛЬНИЙ МОРФОГЕНЕЗ СКЕЛЕТА КИСТІ

Резюме. У статті проведено аналіз даних наукової літератури, присвячених дослідженню пренатального морфогенезу кисті, що має важливе значення для розуміння закономірностей нормального ембріонального та фетального розвитку опорно-рухового апарату людини. Пренатальний морфогенез скелета кисті базується на динамічних і точно скоординованих процесах взаємодії генетичних програм, молекулярних сигналів, клітинної міграції, проліферації, диференціації та навіть механічних сил. Оскільки кисть є високоспеціалізованим анатомічним органом, її основною функцією є забезпечення виконання досить складних рухів, відповідно порушення процесів формування кисті під час внутрішньоутробного періоду розвитку може призвести до вроджених аномалій чи функціональних обмежень. У статті наведено також дані літератури щодо термінів закладки, диференціації та осифікації кісток кисті. Така інформація надає можливість використовувати сучасні методи пренатальної візуалізації для своєчасного діагностування вад розвитку плоду та проведення медико-генетичного консультування. Отже, поглиблене вивчення пренатального морфогенезу кисті, уточнення даних щодо нормальних морфометричних параметрів кісткових елементів у різних термінах гестації має значення для ранньої діагностики та корекції аномалій кінцівок. Мета дослідження: аналіз та узагальнення джерел літератури щодо особливостей пренатального морфогенезу скелету кисті.

Матеріал і методи: для проведення огляду літератури було здійснено аналіз наукових джерел, які висвітлюють сучасні погляди на пренатальний морфогенез скелету кисті. Основним методом дослідження був систематичний аналіз літератури.

Висновки. Проведений аналіз літератури дозволив встановити хронологію розвитку та фазовість процесу формування кисті людини в період ембріогенезу, встановити та описати часові рамки появи центрів осифікації в кістках кисті, описані процеси є важливими для практичних вимірювань у перинатальній діагностиці та ранньої діагностики можливих аномалій розвитку. Дослідження пренатального морфогенезу скелету кисті є важливою складовою оцінки морфометричних параметрів кісток кисті з огляду на можливість ранньої діагностики вад розвитку, розробку стандартів розвитку кісток для різних термінів гестації, можливості клінічних практик в реконструктивній хірургії та перинатології.

Ключові слова: кисть, морфогенез, анатомія, пренатальний розвиток, людина.

Незважаючи на досить велику кількість наукових досліджень, присвячених анатомії, хірургії захворювань та ушкоджень кисті [1-3], за останні воєнні роки інтерес до кисті та пальців з усім різноманіттям

їх варіантної анатомії кровопостачання [4-6], іннервації, патології [7-10] та проблем лікування неймовірно зріс [11-14]. Проте, у джерелах доступної нам літератури трапляються фрагментарні та супереч-

ливі дані щодо особливостей розвитку зап'ясткових і п'ясткових кісток, фаланг пальців, термінів і послідовності появи точок скостеніння у кістках кисті в пренатальному періоді онтогенезу людини [15, 16].

Як зазначав професор Брусиловський А. І. (1984): «Можливо, ми всі трохи відхиляємось від істини, називаючи свій календарний вік, тому що не враховуємо, що наше життя почалося на кілька місяців раніше. Справжній початок нового життя – це запліднення» [17].

З філогенетичної точки зору верхня кінцівка як частина опорно-рухового апарату людини зазнала найбільш специфічного розвитку, досягла найдосконалішої функції та анатомічної структури [18-21]. Верхня кінцівка, зокрема кисть та пальці, забезпечує виконання великого об'єму рухової діяльності людини. Домашній побут, самообслуговування, все наше повсякденне життя неможливе без участі кисті. Вона відіграє основну роль у різноманітних трудових процесах. Руки людини використовуються як невербальні засоби комунікації та пов'язані з особистісними особливостями людини [11].

Як відомо [5, 22, 23], кінцівки формуються після утворення закладки осьового скелета та виявляються в зародків наприкінці 4-го тижня внутрішньоутробного розвитку. Причому, зачат-

ки кінцівок мають вигляд подвійних складок, які представлені скупченнями мезенхіми, що вкриті ектодермою. Саме на цій стадії розвитку обидві кінцівки нагадують плавці нижчих хребтових [22, 24]. Мезенхіма, що вростає в бруньки кінцівок, згущується і на початку 5-го тижня внутрішньоутробного розвитку стають помітними контури майбутнього скелета кінцівок, який побудований із сполучної тканини. Ділянки хрящової тканини з'являються в скупченнях мезенхіми впродовж 2-го місяця ембріонального розвитку [25]. На 2-му місяці ембріонального розвитку вже добре помітні верхні кінцівки та відбувається їх розчленування на дві частини: проксимальну і дистальну. Остання розширена у вигляді «лопати», на якій упродовж 6-7 тижнів внутрішньоутробного розвитку утворюється п'ять горбків, що відповідають зачаткам пальців [23, 26].

Первинні зачатки верхніх кінцівок відповідають дистальному відділові майбутньої кінцівки, тобто майбутній кисті. Причому, зачатки, більше схожі на плавці риб, ніж на верхні кінцівки, подовжуються і намічається розчленування їх на два відділи: проксимальний (відповідає ділянці пояса кінцівок), і дистальний, з ластоподібним розширенням на кінці (відповідає вільній кінцівці) [27, 28] (рис. 1-2).

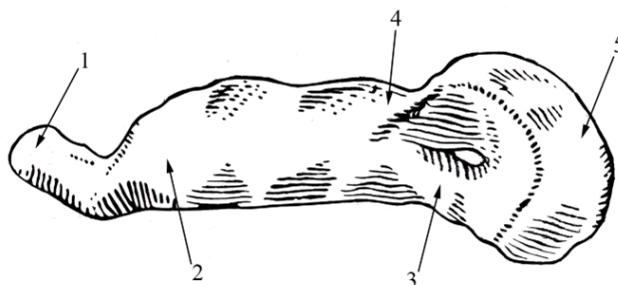


Рис. 1. Мезенхімальний скелет верхньої кінцівки (початок 6-го тижня, 9,0 мм ТКД). Бічна проекція. Схематичне зображення за Lewis: 1 – лопатка; 2 – плечова кістка; 3 – ліктьова кістка; 4 – променева кістка; 5 – зачаток кисті

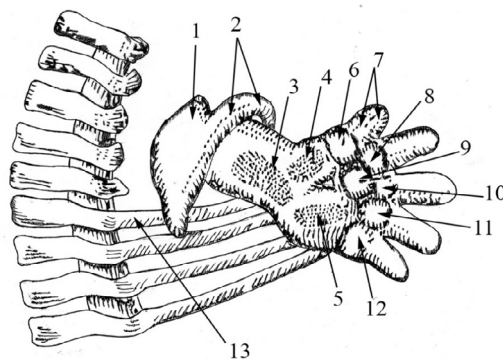


Рис. 2. Розвиток мезенхімального скелету верхньої кінцівки 6-тижневого зародка людини 10,5 мм ТКД. Схематичне зображення за Cornig: 1 – верхній край лопатки; 2 – надплечовий відросток (акроміон) лопатки та ключиця; 3 – закладка плечової кістки; 4 – закладка променевої кістки; 5 – закладка ліктьової кістки; 6 – човноподібна кістка; 7 – закладки трапецієподібної кістки та п'ясткової кістки; 8 – кістка-трапеція; 9 – півмісяцева кістка; 10 – головчаста кістка; 11 – гачкувата кістка; 12 – тригранна кістка; 13 – перше ребро

На 17-й стадії за O'Rahilly R, Müller F. (2010) [29] у пластинці кисті можна спостерігати мезенхімальні конденсації майбутніх п'ясткових кісток та променів пальців. На 18-й стадії починається хондрогенна диференціація зап'ястка. На 19-й стадії хондрогенез чітко виражений у кількох сегментах зап'ястка й кисті. На 20-й стадії головчаста кістка з'являється першою у вигляді незрілої передхрящової структури, а на 21-й стадії вже помітні човноподібна, півмісяцева, гачкувата та тригранна кістки. На 22-й стадії з'являються трапецієподібна кістка та кістка-трапеція, а останньою з кісток зап'ястка формується горохоподібна

кістка. На 23-й стадії за O'Rahilly з'являється, як дуже незріле хрящове утворення, гачок гачкуватої кістки, тоді як решта кістки перебуває на стадії хондрифікації [30, 31].

Слід зазначити, що у передплідів людини верхні кінцівки розчленовуються на плече, передпліччя і кисть упродовж другого місяця внутрішньоутробного життя, одночасно з цим диференціюються й I пальці [32-34].

Скостеніння ліктьової і променевої кісток починається на 7-му тижні внутрішньоутробного розвитку – у хрящових моделях майбутніх кісток [35, 36] (рис. 3).

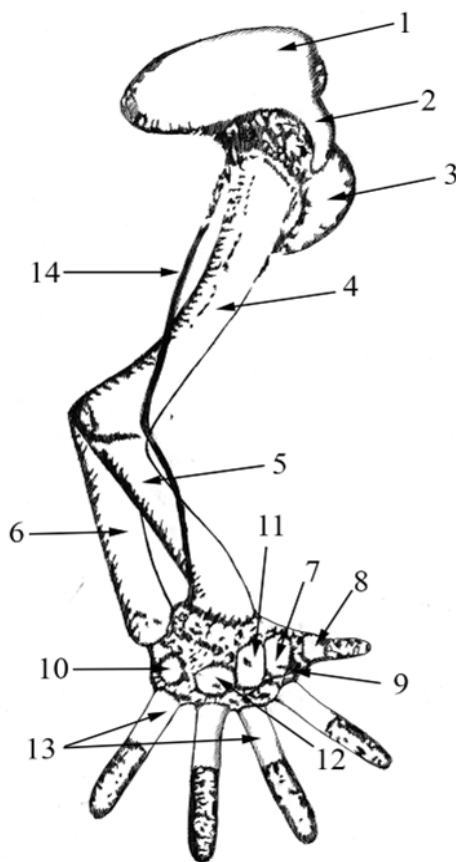


Рис. 3. Скелет верхньої кінцівки (початок 7-го тижня, передплід 15,0 мм ТКД). Сполучнотканинний скелет – темного кольору, хрящовий – світлого кольору. Схематичне зображення за Lewis: 1 – ость лопатки; 2 – надплечовий відросток лопатки; 3 – дзьбоподібний відросток лопатки; 4 – плечова кістка; 5 – променева кістка; 6 – ліктьова кістка; 7 – човноподібна кістка; 8 – трапецієподібна кістка; 9 – кістка-трапеція; 10 – тригранна кістка; 11 – головчаста кістка; 12 – гачкувата кістка; 13 – п'ясткові кістки; 14 – променевий нерв

Осифікація кісток кисті починається на 2-му місяці внутрішньоутробного розвитку, коли з'являються первинні центри скостеніння у діафізах п'ясткових кісток і фаланг пальців. П'ясткові кістки і фаланги новонародженого містять кісткові тіла [35, 36, 37, 38].

Деякі дослідники [30] вказують на таку послідовність хондрифікації та остеогенезу зап'ясткових кісток: процес починається з голо-

вчастої та гачкуватої кісток (19-й тиждень) і завершується горохоподібною кісткою (22-й тиждень). На 14-15-му тижнях внутрішньоутробного розвитку судинний пучок проникає у хрящову товщу півмісяцевої кістки, що є ранньою ознакою остеогенезу, який завершиться вже після народження. Отже, у плодів людини зап'ясткові кістки повністю хрящові (рис. 4); їхнє скостеніння розпочинається на 1-му році життя.

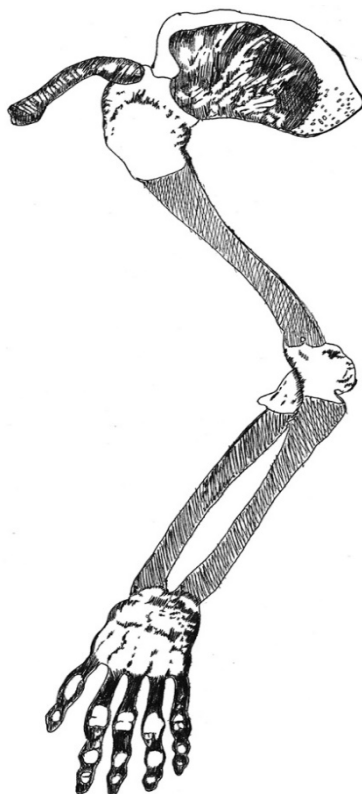


Рис. 4. Скелет правої верхньої кінцівки 5-місячного плода людини. Передня проекція. Кістки позначені чорним кольором. Схематичне зображення за Spalteholz

Висновки. Проведений аналіз літератури дозволив встановити хронологію розвитку та фазовість процесу формування кисті людини в період ембріогенезу, встановити та описати часові рамки появи центрів осифікації в кістках кисті, описані процеси є важливими для практичних вимірювань у перинатальній діагностиці та ранньої діагностики можливих аномалій розвитку. Дослідження пренатального морфогенезу скелету кисті є важливою складовою оцінки морфометричних параметрів кісток кисті з огляду на можливість ранньої діагностики вад розвитку, розробку стандартів розвитку кісток для різних термінів гестації, можливості клінічних практик в реконструктивній хірургії та перинатології.

Перспективи подальших досліджень. На основі наданого аналізу та висновків щодо пренатального морфогенезу скелету кисті, можна визначити нижче зазначені ключові та перспективні напрямки для подальших досліджень: 1. Подальші дослідження мають зосередитися на уточненні нормативних даних, вивченні молекулярних механізмів та клінічній імплементації отриманих знань для ранньої діагностики та корекції. 2. Перспективою є створення високоточних стандартів для ранньої діагностики та розуміння етіології вад. 3. Поглиблення досліджень даної ділянки дозволить не лише краще зрозуміти складні процеси формування кисті, але й істотно підвищить ефективність медико-генетичного консультування та якості перинатальної допомоги.

Список використаної літератури

1. Alsousou J, Bhalaik V. Anatomy and approaches of the wrist. *Orthop Trauma*; 2025;39(4):248-55. doi:10.1016/j.morth.2025.06.005.
2. Henning S, Weston M, David M. Surgical approaches and applied anatomy of the wrist. *Orthop Trauma*; 2021;35(4):174-9. doi:10.1016/j.morth.2021.04.005.
3. Pino PA, Zlotolow DA, Kozin SH. What's new in congenital hand surgery. *J Pediatr Orthop*; 2020;40(8):e753-60. doi:10.1097/BPO.0000000000001601.
4. Lhuire M, Wavreille G, Hivelin M, Aumar A, Hunsinger V, Derder M, et al. Venous system mapping of the digits and the hand: An anatomical study and potential surgical applications. *JPRAS Open*. 2022 May 14;33:171-183. doi: 10.1016/j.jpra.2022.04.008.

5. Rodríguez-Niedenführ M, Burton GJ, Deu J, Sañudo JR. Development of the arterial pattern in the upper limb of staged human embryos: normal development and anatomic variations. *J Anat.* 2001;199(4):407-17. doi:10.1046/j.1469-7580.2001.19940407.x.
6. Janevski BK. *Angiography of the upper extremity.* Hague: MARTINUS NIJHOFF PUBLISHERS; 1982. 223 p. DOI 10.1007/978-94-009-7594-1.
7. Kloc J, Dzula B, Varga I, Klein M, Steno B. Camptodactyly: from embryological basis to surgical treatment. *Medicina (Kaunas).* 2023;59(5):966. doi:10.3390/medicina59050966.
8. Khanal S, Pachya U, Thapaliya S, et al. Congenital limb deficiency: a case report. *JNMA J Nepal Med Assoc.* 2022;60(249):485-7. doi:10.31729/jnma.7486.
9. Kyriazis Z, Kollia P, Grivea I, Sotiriou S, Dailiana ZH. Genetics of congenital anomalies of the hand. *World J Orthop.* 2022;13(11):949-54. doi:10.5312/wjo.v13.i11.949.
10. Ball KF, Tonkin MA, Oberg KC. Embryology and classification of congenital upper limb anomalies. In: Tonkin MA, editor: *Congenital anomalies of the upper extremity: etiology and management.* Cham: Springer; 2021. p. 3-35.
11. Бірюк ІГ, Хмара ТВ, Комар ТВ, Заморський ІІ, Сикирицька ТБ. Функціональна анатомія кисті. *Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics.* 2024;4(100):131-9. doi:10.15574/PP.2024.4(100).131139.
12. Заморський ІІ, Хмара ТВ, Бірюк ІГ, Паньків ТВ, Коваль ОА. Деякі питання історії становлення та перспективи розвитку теоретичної та клінічної медицини. *Morphologia.* 2024;18(3):181-5. doi:10.26641/1997-9665.2024.3.181-185.
13. Pankiv TV, Khmara TV, Zamorskyi II, Koval YuYu, Vlasova OV, Skrypnyk VM. Anatomical-functional and pathological aspects of the mechanisms of interaction of the mother–placenta–fetus system. *Modern Pediatrics. Ukraine;* 2025;2(146):111-8. doi:10.15574/SP.2025.2(146).111118.
14. Pichat J, Iglesias JE, Yousry T, Ourselin S, Modat M. A survey of methods for 3D histology reconstruction. *Med Image Anal.* 2018;46:73-105. doi:10.1016/j.media.2018.02.004.
15. Aparisi Gómez MP, Watkin S, Perry D, Simoni P, Trisolino G, Bazzocchi A. Anatomical considerations of embryology and development of the musculoskeletal system: basic notions for musculoskeletal radiologists. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2021;25(1):3-21. doi:10.1055/s-0040-1716786.
16. Tang A, Varacallo MA. Anatomy, shoulder and upper limb, hand carpal bones. In: *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539818/>.*
17. Хмара ТВ, Заморський ІІ, Цигикало ОВ. Актуальні питання сучасної ембріології. В: *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Біоморфологія сьогодення», присв. 100-річчю з часу заснування Київської наукової школи порівняльних морфологів; 2024 Sep 26-27; Kyiv, Ukraine.* Kyiv; 2024:106-7.
18. Guéro S. Developmental biology of the upper limb. *Hand Surg Rehabil.* 2018 Oct;37(5):265-274. doi: 10.1016/j.hansur.2018.03.007.
19. Development of the pectoral girdle and upper limb. In: *Basic Medical Key [Internet].* 2020. Available from: <https://basicmedicalkey.com/development-of-the-pectoral-girdle-and-upper-limb/>.
20. Thirkannad SM, Patil R. The Story of the Hand. *Indian J Plast Surg.* 2021 Apr;54(2):106-113. doi: 10.1055/s-0041-1729771.
21. Corning HK. *Atlas zur Entwicklungsgeschichte des menschlichen Körpers.* München: JF Bergmann; 1919. 659 p.
22. Carlson BM. *Human embryology and developmental biology.* 7th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2023. 1462 p.
23. Brown R, Sanghrajka A, Eastwood D. Skeletal embryology and limb growth. In: *Basic orthopaedic sciences.* 2nd ed. Boca Raton (FL): CRC Press; 2018. p. 35-49. doi:10.1201/9781315117294.
24. Raszewski JA, Singh P. Embryology, Hand. 2023 Aug 14. In: *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 30855828.*
25. Zhang B, He P, Lawrence JE, Wang S, Tuck E, Williams BA, et al. A human embryonic limb cell atlas resolved in space and time. *Nature.* 2024;635(8039):668-78. doi:10.1038/s41586-023-06806-x.
26. Chauvin NA, Victoria T, Khwaja A, Dahmouh H, Jaramillo D. Magnetic resonance imaging of the fetal musculoskeletal system. *Pediatr Radiol.* 2020 Dec;50(13):2009-2027. doi: 10.1007/s00247-020-04769-z.
27. Cochard LR, Dueñas AN. *Netter's atlas of human embryology.* Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2023. 306 p.

28. Aparisi Gómez MP, Watkin S, Perry D, Simoni P, Trisolino G, Bazzocchi A. Anatomical Considerations of Embryology and Development of the Musculoskeletal System: Basic Notions for Musculoskeletal Radiologists. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2021 Feb;25(1):3-21. doi: 10.1055/s-0041-1723005.
 29. O'Rahilly R, Müller F. Developmental stages in human embryos: revised and new measurements. *Cells Tissues Organs*. 2010;192(2):73-84. doi:10.1159/000289817.
 30. Hita-Contreras F, Martinez-Amat A, Ortiz R, Aránega A, Amblar M, Moraleda S, et al. Development and morphogenesis of human wrist joint during embryonic and early fetal period. *J Anat*. 2012;220(6):580-90.
 31. Pazzaglia UE, Reguzzoni M, Zarattini G, Zatti G, Cossi A. Growth and shaping of metacarpal and carpal cartilage anlagen: application of morphometry to the development of short and long bone. A study of human hand anlagen in the fetal period. *J Morphol*. 2017;278(7):884-95. doi:10.1002/jmor.20784.
 32. Kumano K, Yamada S, Yamaguchi M, Uwabe C, Takakuwa T. Upper arm posture during human embryonic and fetal development. *Anat Rec (Hoboken)*. 2022;305(1):102-12. doi:10.1002/ar.24667.
 33. Schelly M, Dunse AL. Development of the hand. In: *Pediatric hand deformities in occupational therapy and physical therapy: manual treatment and splint therapy*. Berlin: Springer; 2024. p. 1-31. doi:10.1007/978-3-662-68715-4_1.
 34. Nemec SF, Nemec U, Brugger PC, Bettelheim D, Rotmensch S, Graham JM Jr, et al. MR imaging of the fetal musculoskeletal system. *Prenat Diagn*. 2012 Mar;32(3):205-13. doi: 10.1002/pd.2914.
 35. Хмара ТВ, Коваль ОА, Цигикало ОВ, Паньків ТВ, Заморський ІІ. Особливості появи первинних центрів скостеніння у людини. *Український журнал Перинатологія та Педіатрія*. 2024;3(99):115-23. doi:10.15574/PP.2024.3(99).115123.
 36. Langhans MT, Alexander PG, Tuan RS. Skeletal development. In: Moody SA, editor. *Principles of developmental genetics*. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2015. p. 505-30.
 37. Хмара ТВ, Бірюк ІГ, Коваль ОА, Комар ТВ, Заморський ІІ. Особливості раннього морфогенезу кісток верхньої кінцівки людини. В: Мельник ОП, редактор. *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Біоморфологія сьогодення»*; 2024 Sep 26-27; Київ. Київ: НУБіП України; 2024. с. 104-5.
 38. De Buffrénil V, Quilhac A. An overview of the embryonic development of the bony skeleton. In: de Buffrénil V, Quilhac A, editors. *Vertebrate skeletal histology and paleohistology*. Boca Raton (FL): CRC Press; 2021. p. 29-38.
- References
1. Alsousou J, Bhalaik V. Anatomy and approaches of the wrist. *Orthop Trauma*; 2025;39(4):248-55. doi:10.1016/j.morth.2025.06.005.
 2. Henning S, Weston M, David M. Surgical approaches and applied anatomy of the wrist. *Orthop Trauma*; 2021;35(4):174-9. doi:10.1016/j.morth.2021.04.005.
 3. Pino PA, Zlotolow DA, Kozin SH. What's new in congenital hand surgery. *J Pediatr Orthop*; 2020;40(8):e753-60. doi:10.1097/BPO.0000000000001601.
 4. Lhuire M, Wavreille G, Hivelin M, Aumar A, Hunsinger V, Derder M, et al. Venous system mapping of the digits and the hand: An anatomical study and potential surgical applications. *JPRAS Open*. 2022 May 14;33:171-183. doi: 10.1016/j.jpra.2022.04.008.
 5. Rodríguez-Niedenführ M, Burton GJ, Deu J, Sañudo JR. Development of the arterial pattern in the upper limb of staged human embryos: normal development and anatomic variations. *J Anat*. 2001;199(4):407-17. doi:10.1046/j.1469-7580.2001.19940407.x.
 6. Janevski BK. *Angiography of the upper extremity*. Hague: MARTINUS NIJHOFF PUBLISHERS; 1982. 223 p. DOI 10.1007/978-94-009-7594-1.
 7. Kloc J, Dzula B, Varga I, Klein M, Steno B. Camptodactyly: from embryological basis to surgical treatment. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(5):966. doi:10.3390/medicina59050966.
 8. Khanal S, Pachya U, Thapaliya S, et al. Congenital limb deficiency: a case report. *JNMA J Nepal Med Assoc*. 2022;60(249):485-7. doi:10.31729/jnma.7486.
 9. Kyriazis Z, Kollia P, Grivea I, Sotiriou S, Dailiana ZH. Genetics of congenital anomalies of the hand. *World J Orthop*. 2022;13(11):949-54. doi:10.5312/wjo.v13.i11.949.
 10. Ball KF, Tonkin MA, Oberg KC. Embryology and classification of congenital upper limb anomalies. In: Tonkin MA, editor. *Congenital anomalies of the upper extremity: etiology and management*. Cham: Springer; 2021. p. 3-35.

11. Biryuk IH, Khmara TV, Komar TV, Zamors'kyy II, Sykryts'ka TB. Funktsional'na anatomiya kysti. *Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics*. 2024;4(100):131-9. doi:10.15574/PP.2024.4(100).131139. [in Ukrainian].
12. Zamors'kyy II, Khmara TV, Biryuk IH, Pan'kiv TV, Koval' OA. Deyaki pytannya istoriyi stanovlennya ta perspektyvy rozvytku teoretychnoyi ta klinichnoyi medytsyny. *Morphologia*. 2024;18(3):181-5. doi:10.26641/1997-9665.2024.3.181-185. [in Ukrainian].
13. Pankiv TV, Khmara TV, Zamorskyi II, Koval YuYu, Vlasova OV, Skrypnyk VM. Anatomical-functional and pathological aspects of the mechanisms of interaction of the mother-placenta-fetus system. *Modern Pediatrics*. Ukraine. 2025;2(146):111-8. doi:10.15574/SP.2025.2(146).111118. [in Ukrainian].
14. Pichat J, Iglesias JE, Yousry T, Ourselin S, Modat M. A survey of methods for 3D histology reconstruction. *Med Image Anal*. 2018;46:73-105. doi:10.1016/j.media.2018.02.004.
15. Aparisi Gómez MP, Watkin S, Perry D, Simoni P, Trisolino G, Bazzocchi A. Anatomical considerations of embryology and development of the musculoskeletal system: basic notions for musculoskeletal radiologists. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2021;25(1):3-21. doi:10.1055/s-0040-1716786.
16. Tang A, Varacallo MA. Anatomy, shoulder and upper limb, hand carpal bones. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539818/>.
17. Khmara TV, Zamors'kyy II, Tsyhykalo OV. Aktual'ni pytannya suchasnoyi embriolohiyi. V: *Materialy Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi «Biomorfolohiya s'ohodennya», prysv. 100-richchyu z chasu zasnuvannya Kyivs'koyi naukovoyi shkoly porivnyal'nykh morfolohiv*; 2024 Sep 26-27; Kyiv, Ukraine. Kyiv; 2024:106-7. [in Ukrainian].
18. Guéro S. Developmental biology of the upper limb. *Hand Surg Rehabil*. 2018 Oct;37(5):265-274. doi: 10.1016/j.hansur.2018.03.007.
19. Development of the pectoral girdle and upper limb. In: *Basic Medical Key* [Internet]. 2020. Available from: <https://basicmedicalkey.com/development-of-the-pectoral-girdle-and-upper-limb/>.
20. Thirkannad SM, Patil R. The Story of the Hand. *Indian J Plast Surg*. 2021 Apr;54(2):106-113. doi: 10.1055/s-0041-1729771.
21. Corning HK. *Atlas zur Entwicklungsgeschichte des menschlichen Körpers*. München: JF Bergmann; 1919. 659 p.
22. Carlson BM. *Human embryology and developmental biology*. 7th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2023. 1462 p.
23. Brown R, Sanghrajka A, Eastwood D. Skeletal embryology and limb growth. In: *Basic orthopaedic sciences*. 2nd ed. Boca Raton (FL): CRC Press; 2018. p. 35-49. doi:10.1201/9781315117294.
24. Raszewski JA, Singh P. Embryology, Hand. 2023 Aug 14. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. PMID: 30855828.
25. Zhang B, He P, Lawrence JE, Wang S, Tuck E, Williams BA, et al. A human embryonic limb cell atlas resolved in space and time. *Nature*. 2024;635(8039):668-78. doi:10.1038/s41586-023-06806-x.
26. Chauvin NA, Victoria T, Khwaja A, Dahmouh H, Jaramillo D. Magnetic resonance imaging of the fetal musculoskeletal system. *Pediatr Radiol*. 2020 Dec;50(13):2009-2027. doi: 10.1007/s00247-020-04769-z.
27. Cochard LR, Dueñas AN. *Netter's atlas of human embryology*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2023. 306 p.
28. Aparisi Gómez MP, Watkin S, Perry D, Simoni P, Trisolino G, Bazzocchi A. Anatomical Considerations of Embryology and Development of the Musculoskeletal System: Basic Notions for Musculoskeletal Radiologists. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2021 Feb;25(1):3-21. doi: 10.1055/s-0041-1723005.
29. O'Rahilly R, Müller F. Developmental stages in human embryos: revised and new measurements. *Cells Tissues Organs*. 2010;192(2):73-84. doi:10.1159/000289817.
30. Hita-Contreras F, Martinez-Amat A, Ortiz R, Aránega A, Amblar M, Moraleda S, et al. Development and morphogenesis of human wrist joint during embryonic and early fetal period. *J Anat*. 2012;220(6):580-90.
31. Pazzaglia UE, Reguzzoni M, Zarattini G, Zatti G, Cossi A. Growth and shaping of metacarpal and carpal cartilage anlagen: application of morphometry to the development of short and long bone. A study of human hand anlagen in the fetal period. *J Morphol*. 2017;278(7):884-95. doi:10.1002/jmor.20784.
32. Kumano K, Yamada S, Yamaguchi M, Uwabe C, Takakuwa T. Upper arm posture during human embryonic and fetal development. *Anat Rec (Hoboken)*. 2022;305(1):102-12. doi:10.1002/ar.24667.

33. Schelly M, Dunse AL. Development of the hand. In: *Pediatric hand deformities in occupational therapy and physical therapy: manual treatment and splint therapy*. Berlin: Springer; 2024. p. 1-31. doi:10.1007/978-3-662-68715-4_1.
34. Nemec SF, Nemec U, Brugger PC, Bettelheim D, Rotmensch S, Graham JM Jr, et al. MR imaging of the fetal musculoskeletal system. *Prenat Diagn*. 2012 Mar;32(3):205-13. doi: 10.1002/pd.2914.
35. Khmara TV, Koval' OA, Tsyhykalo OV, Pan'kiv TV, Zamors'kyy II. Osoblyvosti poyavy pervynnykh tsentriv skosteninnya u lyudyny. *Ukrayins'kyy zhurnal Perynatolohiya ta Pediatriya*. 2024;3(99):115-23. doi:10.15574/PP.2024.3(99).115123. [in Ukrainian].
36. Langhans MT, Alexander PG, Tuan RS. Skeletal development. In: Moody SA, editor. *Principles of developmental genetics*. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2015. p. 505-30.
37. Khmara TV, Biryuk IH, Koval' OA, Komar TV, Zamors'kyy II. Osoblyvosti rann'oho morfohenezu kistok verkh'oyi kintsivky lyudyny. V: Mel'nyk OP, redaktor. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi «Bio-morfolohiya s'ohodennya»*; 2024 Sep 26-27; Kyiv. Kyiv: NUBiP Ukrayiny; 2024. s. 104-5. [in Ukrainian].
38. De Buffrénil V, Quilhac A. An overview of the embryonic development of the bony skeleton. In: de Buffrénil V, Quilhac A, editors. *Vertebrate skeletal histology and paleohistology*. Boca Raton (FL): CRC Press; 2021. p. 29-38.

MODERN PERSPECTIVES ON THE PRENATAL MORPHOGENESIS OF THE HAND SKELETON

Abstract. The article analyses scientific literature devoted to the study of prenatal morphogenesis of the hand, which is crucial for understanding the patterns of normal embryonic and fetal development of the human musculoskeletal system. Prenatal morphogenesis of the hand skeleton is based on dynamic and precisely coordinated processes of interaction between genetic programs, molecular signals, cell migration, proliferation, differentiation, and even mechanical forces. Since the hand is a highly specialised anatomical organ, its main function is to ensure the performance of rather complex movements. Accordingly, disturbances in the processes of hand formation during the intrauterine period of development can lead to congenital anomalies or functional limitations.

The article represents literature on the timing of the laying down, differentiation, and ossification of the hand bones. Such information enables the use of modern prenatal imaging methods for the timely diagnosis of fetal developmental defects and medical genetic counselling. Therefore, an in-depth study of the prenatal morphogenesis of the hand, as well as clarification of data on the normal morphometric parameters of bone elements at different gestational ages, is necessary for early diagnosis and correction of limb anomalies.

Purpose of the study: Analysis and generalisation of literature sources regarding the peculiarities of prenatal morphogenesis of the hand skeleton.

Material and methods: To conduct the literature review, an analysis of scientific sources covering modern views on prenatal morphogenesis of the hand skeleton was performed. The main research method was a systematic literature analysis.

Conclusions: The conducted literature analysis made it possible to establish the chronology of development and the phasic nature of the human hand formation process during embryogenesis, to determine and describe the time frame for the appearance of ossification centres in the bones of the hand. The described processes are important for practical measurements in perinatal diagnostics and early detection of possible developmental anomalies. The study of prenatal morphogenesis of the hand skeleton is a crucial component of assessing the morphometric parameters of the hand bones, considering the possibility of early diagnosis of developmental defects, the development of bone development standards for different gestational ages, and the potential of clinical practices in reconstructive surgery and perinatology.

Key words: hand, morphogenesis, anatomy, prenatal development, human.

Відомості про авторів:

Бірюк Ігор Григорович – кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри медицини катастроф та військової медицини закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8171-2808>;

Хмара Тетяна Володимирівна – доктор медичних наук, професор, професор кафедри анатомії людини ім. М. Г. Туркевича закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4699-6600>;

Куковська Ірина Любомирівна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри медицини катастроф та військової медицини закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2838-0135>;

Марценяк Ігор Валеріанович – кандидат медичних наук, доцент кафедри терапії, реабілітації та здоров'язбережувальних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2753-6772>;

Безкровна Надія Володимирівна – лікар сімейної медицини, комунальне некомерційне підприємство «Міська поліклініка № 3» Чернівецької міської ради, м. Чернівці;

Стефанчук Василь Іванович – заступник завідувача кафедри, начальник навчальної частини кафедри медицини катастроф та військової медицини закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9535-4378>.

Information about the authors:

Biriuk Ihor H. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8171-2808>;

Khmara Tetiana V. – Doctor of Medicine Sciences, Professor, Professor of the Department of Human Anatomy named after MG Turkevich of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4699-6600>;

Kukovska Iryna L. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2838-0135>;

Marceniak Ihor V. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Rehabilitation, Occupational Therapy and Pre-medical Assistance of the Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2753-6772>;

Bezкровna Nadiia V. – Family physician, Municipal non-profit enterprise «City Polyclinic N 3» of the Chernivtsi City Council.

Stefanchuk Vasyl I. – Deputy Head of the Department, Head of the Educational Unit of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9535-4378>.

Надійшла 06.08.2025 р.