Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

УДК 611.717.013-053.13

Т.В. Хмара, І.Г. Бірюк, Т.В. Паньків, М.І. Кривчанська, Н.Я. Козарійчук

Особливості розвитку кісток верхньої кінцівки в зародків і передплодів людини

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2026. 1(90): 14-21. doi: 10.15574/PS.2026.1(90).1421

For citation: Khmara TV, Biryuk IG, Pankiv TV, Kryvchanska MI, Kozariichuk NYa. (2026). Features of upper limb bone development in human embryos and fetuses. Paediatric Surgery (Ukraine). 1(90): 14-21. doi: 10.15574/PS.2026.1(90).1421.

Визначено основні етапи формування і скостеніння кісток верхньої кінцівки людини в зародковому й передплодовому періодах розвитку людини. Окреслено часові рамки і морфологічні зміни, важливі для діагностування нормального і патологічного розвитку плода.

Мета – встановити особливості закладки і розвитку кісток верхньої кінцівки в зародковому й передплодовому періодах онтогенезу людини для оцінювання остеогенезу за умов норми та діагностування форм аномалій скостеніння та скелетних дисплазій.

Матеріали і методи. Дослідження проведено на підставі вивчення серій гістологічних зрізів 17 зародків і передплодів людини віком 4–12 тижнів від 5,0 мм до 79,0 мм тім'яно-куприкової довжини. Застосовано мікроскопічний метод і тривимірне реконструювання для аналізу морфологічних особливостей розвитку кісток верхньої кінцівки.

Результати. Досліджено морфогенез кісток верхньої кінцівки в зародковому (4–6 тижнів) й передплодовому (7–12 тижнів) періодах розвитку людини. Встановлено етапи появи та перебудови хрящових і кісткових зачатків верхньої кінцівки, зміни їхньої форми та топографії. Визначено терміни і послідовність появи точок скостеніння та особливості остеогенезу верхньої кінцівки на ранніх стадіях внутрішньоутробного розвитку людини.

Висновки. Кістки верхньої кінцівки формуються в чіткій послідовності: спочатку закладка хрящових моделей, потім їх поступова диференціація та скостеніння. Первинні ядра скостеніння з'являються в діафізах довгих трубчастих кісток на 8–9-му тижнях внутрішньоутробного розвитку, що збігається з інтенсивним ростом верхньої кінцівки. Виявлені закономірності морфогенезу кісток верхньої кінцівки та встановлена послідовність появи ядер скостеніння можуть бути використані для з'ясування їхньої вікової динаміки скостеніння за нормального розвитку й уточнення морфологічних передумов можливого виникнення аномалій скостеніння в плода під час проведення ультразвукових скринінгів у вагітних.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: верхня кінцівка, ключиця, лопатка, плечова кістка, кістки передпліччя, кисть, ембріогенез, зародок.

Features of upper limb bone development in human embryos and fetuses

T.V. Khmara, I.G. Biryuk, T.V. Pankiv, M.I. Kryvchanska, N.Ya. Kozariichuk

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

The main stages of formation and ossification of the human upper limb bones during the embryonic and early fetal periods have been determined. The temporal framework and morphological changes significant for the diagnosis of normal and pathological fetal development have been outlined.

Aim – to identify the specific features of the formation and development of the bones of the upper limb during the embryonic and pre-fetal periods of human ontogenesis in order to assess osteogenesis under normal conditions and to diagnose forms of ossification anomalies and skeletal dysplasias.

Materials and methods. The study was based on serial histological sections of 17 human embryos and early fetuses aged 4–12 weeks (parieto-coccygeal length: 5.0–79.0 mm). Microscopy and three-dimensional reconstruction were used to analyze morphological features of upper limb bone development.

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

Results. The morphogenesis of human upper limb bones was examined during the embryonic (4–6 weeks) and early fetal (7–12 weeks) periods. The stages of appearance and remodeling of cartilaginous and osseous primordia, along with changes in their shape and topography, were identified. The onset of ossification and the growth patterns of the diaphyses and epiphyses of the humerus, ulna, and radius were determined.

Conclusions. The formation of the upper limb bones follows a well-defined sequence, beginning with the development of cartilaginous models, followed by gradual differentiation and ossification. Primary ossification centers appear in the diaphyses at 8–9 weeks, coinciding with intensive limb growth. The identified developmental patterns may be applied in medico-biological expertise and for refining the normal parameters of prenatal development.

No conflict of interest was declared by authors.

Keywords: upper limb, clavicle, scapula, humerus, forearm bones, hand, embryogenesis, embryo.

Вступ

Протягом останніх десятиліть спостерігається значний прорив у вивченні ембріонального і фетального періодів розвитку людини. Це досягнення стало можливим завдяки впровадженню новітніх технологій, таких як ультразвукові сканери, комп'ютерні томографи і методи генетичного аналізу [19,20]. На сьогодні досить по-сучасному звучать слова В.О. Беца: «Постійність форми і величини кісток обумовлюється визначеними особливостями їхньої будови, закладеними неодмінно вже при утворенні кісток зародка».

Як відомо [9,26], кінцівки формуються після утворення закладки осьового скелета та виявляються в зародків наприкінці 4-го тижня внутрішньоутробного розвитку. Причому зачатки кінцівок мають вигляд подвійних складок, представлених скупченнями мезенхіми, вкритими ектодермою. Саме на цій стадії розвитку обидві кінцівки нагадують плавці нижчих хребтових. Бруньки верхніх кінцівок скелетотопічно визначаються на рівні від IV шийного до I грудного сегментів [1,4]. Мезенхіма, що вростає в бруньки кінцівок, згущується, і на початку 5-го тижня внутрішньоутробного розвитку стають помітними контури майбутнього скелета кінцівок, побудованого зі сполучної тканини. Ділянки хрящової тканини з'являються в скупченнях мезенхіми впродовж 2-го місяця ембріонального розвитку [15,21].

На 2-му місяці ембріонального розвитку вже добре помітні верхні кінцівки, розчленовані 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 [9,18].

Загальним для пропорцій верхньої кінцівки ранніх ембріонів є відносно довгі плече і кисть, і коротке передпліччя. На думку окремих авторів [21,22], у першу половину внутрішньоутробного життя плода плече коротше за передпліччя. Деякі дослідники [3] вказують на стимулювальний вплив функції на зростання трубчастих кісток у довжину.

Систематичне і документоване вивчення морфогенезу скелета верхньої кінцівки потребує досліджень на значному матеріалі в разі використання комплексу як класичних, так і сучасних методів морфологічного дослідження. Темпи розвитку скелета верхньої кінцівки мають індивідуальні відхилення, крайні межі яких можна позначити як крайні форми анатомічної мінливості, що характеризують кожну вікову групу [2,7,11].

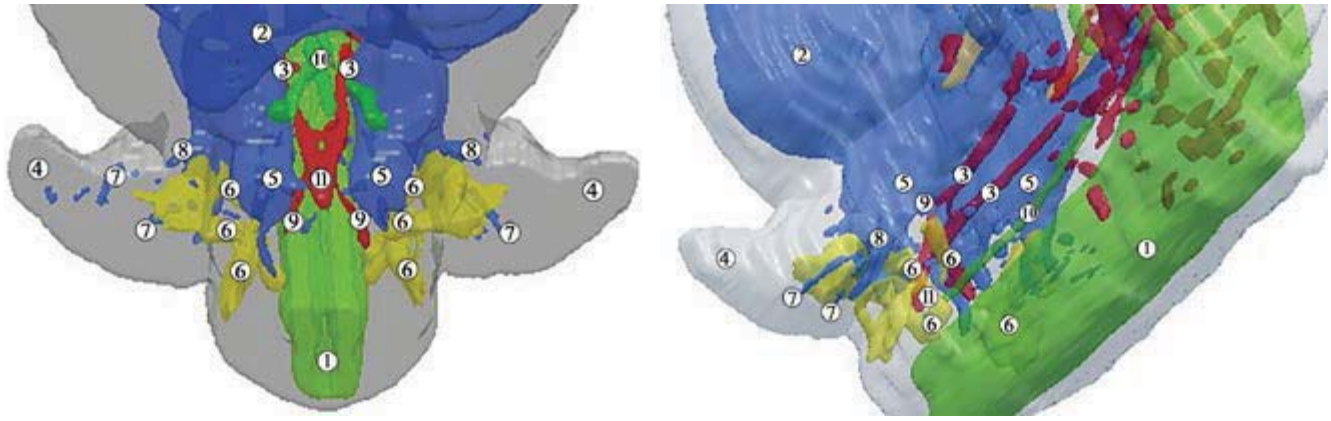
Зачатки кінцівок у людини являють собою скупчення багатої судинами мезенхіми і визначаються наприкінці 3-го тижня ембріогенезу, а до кінця 4-го тижня, у середині закладки верхніх кінцівок, виявляється невелике потовщення мезенхіми, а на 5-му тижні внутрішньоутробного розвитку – подібне потовщення для нижніх кінцівок. Ці потовщення є першою закладкою скелета кінцівок – «склеробласта», з якого розвивається перетинчастий скелет. В останньому розвивається хрящовий скелет, а з нього – вже постійний кістковий скелет [8,23,25].

За даними деяких дослідників [3,13], в 11-тижневих передплодів людини (54,0–60,0 мм тім'яно-куприкової довжини (ТКД)) відбуваються інтенсивні процеси скостеніння в моделі ключиці. У фалангах кінцівок осередки скостеніння розміщені ближче до дистальних епіфізів і представлені поодинокими, не зв'язаними між собою, острівцями.

Незважаючи на величезний фактичний матеріал у галузі розвитку верхньої кінцівки людини, слід визнати, що не цілком зрозумілі загальні структурні принципи розвитку її кісток. Вивчення особливостей морфогенезу кісток верхньої кінцівки, термінів послідовності появи точок скостеніння, а також вікових особливостей кісток поясу і вільної верхньої кінцівки має практичне значення для визначення «кісткового віку» дитини, захворювань залоз внутрішньої секреції, коли порушується процес скостеніння [14,17,22].

Мета дослідження – встановити особливості закладки і розвитку кісток верхньої кінцівки в зародковому і передплодовому періодах онтогенезу людини для оцінювання остеогенезу за умов норми та

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua



А *Б*

Рис. 1. Тривимірна реконструкція середньої частини тіла зародка людини (початок 5-го тижня, 6,0 мм ТКД). А – передньо-нижня проєкція; Б – ліва верхньо-бічна проєкція: 1 – спинний мозок; 2 – серце; 3 – дорсальні аорти; 4 – зачаток верхньої кінцівки; 5 – прекардинальні вени; 6 – спинномозкові нерви; 7 – вени верхньої кінцівки; 8 – підключичні вени; 9 – підключична артерія; 10 – нотохорд; 11 – низхідна аорта. Зб. ×75

діагностування форм аномалій скостеніння і скелетних дисплазій.

Матеріали і методи дослідження

Дослідження проведено на підставі вивчення серій гістологічних зрізів 17 зародків і передплодів людини віком 4–12 тижнів від 5,0 до 79,0 мм ТКД із використанням мікроскопічного методу і тривимірного реконструювання.

У сучасних дослідженнях частіше застосовують результати морфометричних показників R. O'Rahilly та F. Müller (2010) [18]. У шкалі Карнегі використовують довжину ембріона для встановлення віку. Останнім часом завдяки технологічному прогресу є більш точним визначення стадії Карнегі розвитку ембріона за таким морфометричним показником, як довжина ембріона. Але в разі застосування клінічних методів антенатального діагностування немає єдиного консенсусу стосовно параметрів, які володіють найбільшою вірогідністю і дають змогу чітко визначити стадію ембріонів. Загальноприйнятим морфометричним показником є ТКД, яка визначається не тільки в класичних антропометричних дослідженнях, але може бути виміряна під час соноембріологічного дослідження [29].

Дослідження проведено відповідно до основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи з прав людини та біомедицини (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964–2013 рр.), наказу Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України № 690 від 23.09.2009 та з урахуванням методичних рекомендацій МОЗ України «Порядок вилучення біологічних об'єктів від померлих осіб, тіла яких підлягають судово-медичній експертизі та патологоанатомічному дослідженню, для наукових цілей» (2018). Комісією з питань біомедичної етики Буковинського державного медичного університету (протокол № 7 від 12.06.2025) не виявлено порушень морально-правових норм при проведенні науково-дослідної роботи.

Результати дослідження та їх обговорення

У зародків ранніх стадій вирости кінцівок мають «ластоподібну» форму, що є периферичною частиною кінцівки, – кисть або стопу. Відсутнє диференціювання мезенхіми. На момент її перебудови визначаються і проксимальні відділи кінцівки. Процес диференціювання мезенхіми в скелетогенну тканину відбувається від проксимального відділу кінцівки до дистального. Поява незрілої прохондральної тканини в ділянці кисті відбувається раніше, ніж у стопі, що пов'язано з інтенсивнішим ростом головного відділу ембріона.

У 4-тижневого зародка людини склеробласт «бруньки» кінцівок виявляється у вигляді невеликого ущільнення мезенхіми поблизу майбутньої головки плечової кістки. Упродовж 4-го тижня внутрішньоутробного розвитку людини це потовщення розростається, поширюючись на дистальну частину закладки кінцівок, і дає початок хрящовим зачаткам плечової, променевої і ліктьової кісток та лопатки. На цій стадії ембріогенезу ключиця є досить однорідною масою конденсованої мезенхіми, яку до цього періоду не можна досить чітко відрізнити від оточуючих тканин. Хрящова основа закладки плечової кістки оточена сильно вираженим товстим охряс-

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

тям. На обох кінцях короткого тіла плечової кістки тканина має передхрящовий характер будови. На тривимірних реконструкціях 5-тижневих зародків людини чітко визначаються зачатки верхніх кінцівок (рис. 1), а також виявляються судини і нерви верхніх кінцівок (рис. 2).

Кистьова пластинка ластоподібної форми своєю вентральною (згинальною) поверхнею обернена до тіла зародка, а протилежною, дорсальною (розгинальною) поверхнею – убік. У подальшому намічається вигин, що відповідає ліктю, а також утворюються у формі п'яти горбків зачатки пальців.

У кистьовій пластинці на наступних стадіях розвитку можна побачити потовщені пластинки мезенхіми, які відповідають закладкам зап'ясткових кісток. Жодного диференціювання в цей період розвитку зап'ясткових і п'ясткових кісток ще немає.

Уперше закладки скелета кисті виявлені в передплодів 12,0–13,0 мм ТКД і представлені п'ятьма окремими променями згущеної мезенхіми. Диференціювання згущеної мезенхіми в окремі скелетогенні зачатки однаково відбувається як у кисті, так і в стопі. Якщо розглянути послідовність появи кісток скелета кисті, то слід зауважити, що спочатку виявляється закладка коротких трубчастих кісток – п'ясткових (рис. 3), за ними з'являється закладка зап'ясткових кісток, а останнім виникає скелет фаланг пальців.

На початку 7-го тижня внутрішньоутробного розвитку в передплодів людини 14,0–15,0 мм ТКД визначається добре виражена закладка лопатки, ключиця представлена паличкою, що виникає з потовщеної мезенхімальної тканини, і в тілі ключиці на 6-му тижні розвитку з'являються самостійні точки скостеніння – присередня і бічна. На цій стадії передплодового періоду розвитку поступово збільшується закладка плечової кістки, набуваючи хрящового остову, ліктьова і променева кістки складаються теж головним чином із хряща, оточеного щільним охрястям. Кисть представлена потовщеною мезенхімою, у якій можна спостерігати місця з чітко вираженим ущільненням, які відповідають зап'ястковим кісткам. Слід зауважити, що первинна форма закладок зап'ясткових кісток округла та однотипна, при чому всі зачатки цих кісток однакові за розмірами. Фаланги визначаються в аналогічних місцях ущільненої тканини, без ознак будь-якої сегментації. Лопатка складається переважно з хряща, покритого вираженим шаром охрястя. Ключиця має вигляд паличкоподібного утворення, що доходить до I ребра і з'єднується із зачатком ручки груднини. Вона має самостійне ядро. Виявляється надплечово-ключична зв'язка.

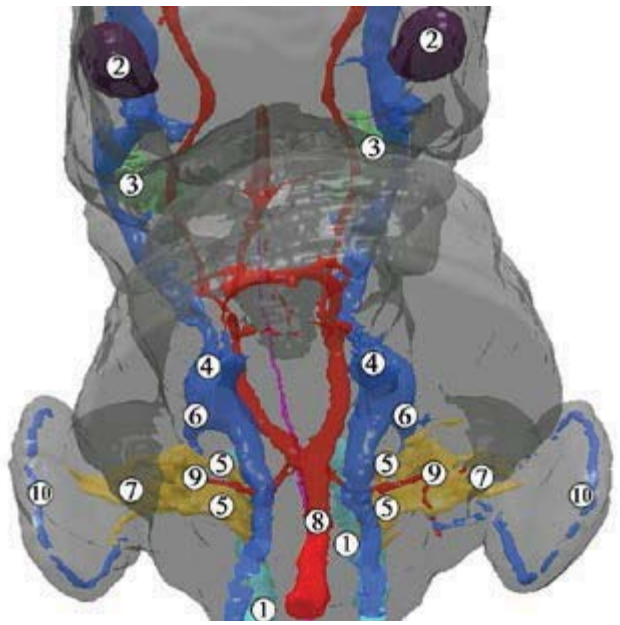


Рис. 2. Тривимірна реконструкція верхньої половини тіла зародка людини (середина 5-го тижня, 7,5 мм ТКД). Передньо-нижня проєкція: 1 – спинномозкові вузли; 2 – очні яблука; 3 – слухові плакоди; 4 – прекардинальні вени; 5 – спинномозкові нерви; 6 – підключичні вени; 7 – нерви верхньої кінцівки; 8 – низхідна аорта; 9 – підключичні артерії; 10 – вени верхньої кінцівки. Зб. ×65

Рис. 3. Поперечний зріз правої кисті 6-тижневого зародка людини (12,0 мм ТКД): 1 – перша п'ясткова кістка; 2 – друга п'ясткова кістка; 3 – третя п'ясткова кістка; 4 – четверта п'ясткова кістка; 5 – п'ята п'ясткова кістка; 6 – поверхневі вени; 7 – променевий нерв; 8 – серединний нерв; 9 – глибокий м'яз-згинач пальців; 10 – довгий м'яз-згинач великого пальця. Фото мікропрепарату. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Зб. ×70

На серіях гістологічних зрізів 7-тижневих передплодів людини, крім кісток верхньої кінцівки, чітко виявляються зачатки м'язів і судинно-нервових утворень (рис. 4).

Слід зазначити, що в передплодів людини верхні кінцівки розчленовуються на плече, передпліччя і кисть (рис. 5) упродовж 2-го місяця внутрішньоутробного життя, одночасно з цим диференціюються й перші пальці.

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

Рис. 4. Косо-фронтальний зріз правої верхньої кінцівки 7-тижневого передплода людини (17,0 мм ТКД): 1 – плечова кістка; 2 – променева кістка; 3 – човноподібна кістка; 4 – півмісяцева кістка; 5 – триголовий м'яз плеча; 6 – дельтоподібний м'яз; 7 – двоголовий м'яз плеча; 8 – променевий м'яз-згинач зап'ястка; 9 – плечо-променевий м'яз; 10 – ліктьовий м'яз-згинач зап'ястка; 11 – ліктьовий нерв; 12 – серединний нерв; 13 – поверхневі вени верхньої кінцівки; 14 – променева артерія. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Фото мікропрепарату. Зб. ×70

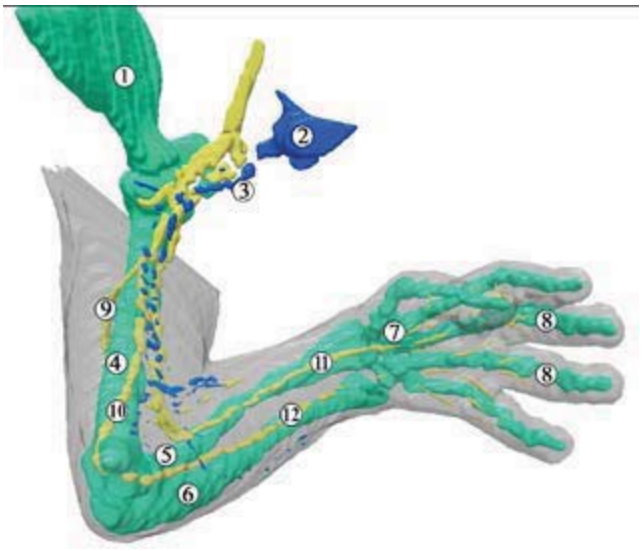


Рис. 5. Тривимірна реконструкція лівої верхньої кінцівки 8-тижневого передплода людини (23,0 мм ТКД). Присередня проєкція: 1 – лопатка; 2 – ліва яремна вена; 3 – ліва підключична вена; 4 – плечова кістка; 5 – променева кістка; 6 – ліктьова кістка; 7 – кістки зап'ястка; 8 – фаланги пальців; 9 – променевий нерв; 10 – ліктьовий нерв; 11 – серединний нерв; 12 – поверхнева гілка ліктьового нерва. Зб.×45

Скостеніння ліктьової і променевої кісток починається на 7-му тижні внутрішньоутробного розвитку – у хрящових моделях майбутніх кісток. Причому центр скостеніння в тілі ліктьової кістки з'являється дещо пізніше, ніж у тілі променевої кістки. Наприкінці 7-го – на початку 8-го тижнів внутрішньоутробного розвитку в передплодів людини на кінцях ще коротеньких пальців виявляються кігтеподібні додатки, що утворилися з епідермальних клітин, а на долоні – м'якушеві подушечки, що збігається з даними В. Гензена (1835–1924) про те, що рука зародка дуже схожа на лапу хижака. У передплодів людини цієї вікової групи (18,0–23,0 мм ТКД) майбутні згинальні поверхні кінцівок обернені до тулуба, великі пальці кистей спрямовані до голови. Далі верхня кінцівка повертається навколо довгої осі на 90°, у результаті чого великий палець кисті розміщується латерально.

У передплодів людини 20,5–22,0 мм ТКД вже виявляється закладка плечового суглоба без утворення ще чітко вираженої суглобової капсули. Також визначаються закладки добре виражених виростків плечової кістки, спостерігається збільшення закладок кісток передпліччя, ліктьовий і шилоподібний відростки складаються з хряща і потовщеної мезенхімальної тканини. Наприкінці 2-го місяця внутрішньоутробного розвитку процес скостеніння розпочинається в хрящовій моделі плечової кістки і виникає первинне ядро в тілі. Також на цій стадії розвитку з'являється первинне ядро скостеніння поблизу її бічного кута – у ділянці шийки лопатки.

Хрящові закладки зап'ясткових кісток утворюються в передплодів людини на 2-му місяці внутрішньоутробного життя. Слід зазначити, що в деяких передплодів людини виявляється хрящова закладка центральної кістки, якої немає в нормі в дорослої людини. На подальших стадіях пренатального онтогенезу людини центральна кістка зливається з човноподібною кісткою, що узгоджується з даними деяких авторів [10].

Починаючи з 8-го тижня внутрішньоутробного розвитку і до кінця передплодового періоду онтогенезу хрящова основа скелета верхньої кінцівки поступово набуває особливостей будови майбутньої кісткової основи (рис. 6).

У передплодів людини 34,0–37,0 мм ТКД можна розрізнити окремі зачатки зап'ясткових кісток (рис. 7), які за своєю формою нагадують дефінітивні. Зачатки п'ясткових кісток, які на ранніх стадіях ембріогенезу представлені променями згущеної мезенхіми, зазнають змін, починаючи з центральних ділянок, де раніше виникають острівці охрящування в ділянці майбутніх тіл. Слід зазначити, що головки п'ясткових кісток оформляються раніше за їхні основи, що, на нашу думку, пов'язано з їхнім функціональним значенням. Скелет пальців формується за типом утворення трубчастих кісток. Упродовж пренатального періоду онтогенезу людини зміню-

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

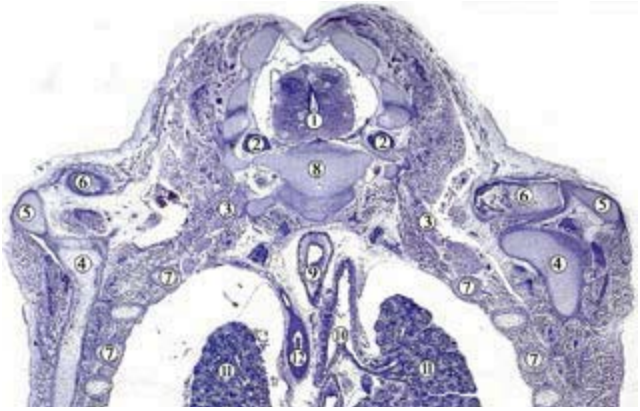


Рис. 6. Фронтальний зріз 8-тижневого передплода людини (30,0 мм ТКД): 1 – спинний мозок; 2 – спинномозковий вузол; 3 – спинномозковий нерв; 4 – плечова кістка; 5 – надплечовий відросток лопатки; 6 – ключиця; 7 – ребра; 8 – шийний хребець; 9 – стравохід; 10 – грудна частина трахеї та її роздвоєння на головні бронхи; 11 – легені; 12 – аорта. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Фото мікропрепарату. Зб. ×100

Рис. 7. Косо-поперечний зріз правої кисті на рівні зап'ясткових кісток 9-тижневого передплода людини (37,0 мм ТКД): 1 – човноподібна кістка; 2 – півмісяцева кістка; 3 – тригранна кістка; 4 – гачкувата кістка; 5 – головчаста кістка; 6 – трапецієподібна кістка; 7 – горохоподібна кістка; 8 – кістка-трапеція; 9 – променевий нерв; 10 – серединний нерв; 11 – променева артерія; 12 – поверхнева гілка променевого нерва; 13 – м'яз-розгинач пальців; 14 – поверхневі вени. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Фото мікропрепарату. Зб. ×120

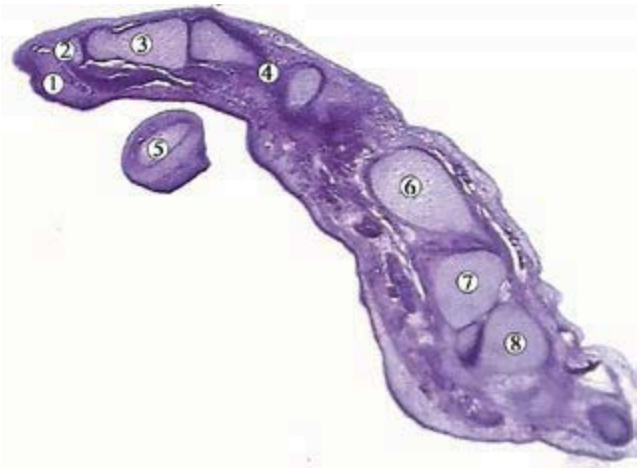


Рис. 8. Поздовжній зріз правої кисті на рівні вказівного пальця 9-тижневого передплода людини (32,0 мм ТКД): 1 – човноподібна кістка; 2 – півмісяцева кістка; 3 – тригранна кістка; 4 – гачкувата кістка; 5 – головчаста кістка; 6 – трапецієподібна кістка; 7 – горохоподібна кістка; 8 – кістка-трапеція. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Фото мікропрепарату. Зб. ×70

ються пропорції в скелеті кисті. Найбільш рання закладка верхньої кінцівки відповідає кисті, і хоча процес диференціювання мезенхіми відбувається в низхідному напрямку, кисть на ранніх стадіях зберігає відносно великі розміри і за своєю довжиною перевищує стопу. Однак через те, що стопа зберігає опорну функцію, вона хоч і закладається пізніше за кисть, але на наступних стадіях розвитку більша за кисть у своїх розмірах і процесі скостеніння скелета. Відносно малу довжину пальців кисті на ранніх стадіях онтогенезу людини можна пояснити пізньою закладкою фаланг пальців порівняно з п'ястковими кістками. Чітко виражені подушечка пальця і хрящові закладки зап'ясткових і п'ясткових кісток, фаланг пальців (рис. 8).

На подальших стадіях розвитку довжина пальців поступово збільшується, і наприкінці внутрішньоутробного життя співвідношення різних відділів кисті наближаються до дефінітивних.

До кінця 3-го місяця внутрішньоутробного розвитку хрящова основа кісток верхньої кінцівки наближається до будови майбутньої кісткової основи, за винятком ключиці; усі інші кістки верхньої кінцівки проходять хрящову стадію розвитку як період, що передує скостенінню. Як відомо, до кінця 4-го місяця внутрішньоутробного життя процес скостеніння в ключиці завершується, за винятком груднинного кінця. Ключиця – це перша кістка, що зазнає процесу скостеніння, і остання за зрощенням її складових частин.

Осифікація кісток кисті починається на 2-му місяці внутрішньоутробного розвитку, коли з'являються первинні центри скостеніння в діафізах п'ясткових кісток і фаланг пальців. Перші ядра скостеніння з'являються в діафізах II-V п'ясткових хрящів на 9–10-му тижнях, а в I п'ястковому хрящі – на 10–11-му тижнях ембріогенезу. Скостеніння фаланг розпочинається на 7–12-му тижнях внутрішньоутробного розвитку, коли з'являються кісткові ядра в діафізах, починаючи з кінцевих фаланг.

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

Отже, у розвитку скелета верхніх кінцівок, окрім ключиці, можна виділити три стадії: мезенхімальну (перетинчасту), хрящову і кісткову; більша частина ключиці костеніє за типом первинних кісток, без хрящової стадії. Загальні контури скелета кінцівки намічаються вже в мезенхімальній стадії через своєрідне ущільнення мезенхіми, що дає так звану передхрящову тканину. 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 розчленовуються на два відділи: проксимальний (відповідає ділянці поясу кінцівки) і дистальний із ластоподібним розширенням на кінці (відповідає вільній кінцівці).

Отримані результати щодо морфогенезу верхніх кінцівок людини загалом збігаються з даними провідних дослідників у галузі ембріології. Зокрема, K. Kumano та співавт. (2022) [15] також описують ранні стадії формування кінцівок із характерною ластоподібною формою, а процес диференціювання мезенхіми в скелетогенну тканину відбувається в напрямку від проксимального до дистального відділу. Аналогічне спостереження наводять J.N. Leijnse та співавт. (2020) [16], які підкреслюють послідовність появи хрящових зачатків плечової, променевої і ліктьової кісток у ранньому ембріональному періоді.

Отже, результати отриманих нами досліджень підтверджують і розширюють існуючі знання про послідовність і особливості розвитку скелета верхніх кінцівок у людини.

Висновки

Формування і диференціація кісток верхньої кінцівки людини в зародковому та передплодовому періодах відбувається в чіткій послідовності: від мезенхімного зачатка – до хрящової моделі – до кісткової тканини з появою ядер окостеніння.

Початкові ознаки скостеніння довгих трубчастих кісток з'являються вже на 9–10-му тижнях внутрішньоутробного розвитку з подальшим поширенням на інші кістки кінцівки.

Упродовж передплодового періоду кістки активно ростуть у довжину, а їхні кортикальні структури потовщуються, що супроводжується розвитком фасцій, сухожилків і зв'язок.

Морфогенез кісток верхньої кінцівки має виражену посегментну організацію та відображає загальні закономірності скелетогенезу людини, водночас зберігаючи специфічні часові особливості для кожної анатомічної структури.

Отримані дані можуть бути використані в клініко-анатомічній практиці для пренатального діагностування, планування реконструктивних операцій та уточнення термінів розвитку патологічних змін опорно-рухового апарату.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Al-Qattan MM, Yang Y, Kozin SH. (2009, Sep). Embryology of the upper limb. J Hand Surg Am. 34(7): 1340-1350. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.06.013. PMID: 19700076.
2. Aparisi Gómez MP, Watkin S, Perry D, Simoni P, Trisolino G, Bazzocchi A. (2021). Anatomical considerations of embryology and development of the musculoskeletal system: Basic notions for musculoskeletal radiologists. Seminars in Musculoskeletal Radiology. 25(1): 3-21. https://doi.org/10.1055/s-0040-1716660.
3. Arvind V, Huang AH. (2017, Dec). Mechanobiology of limb musculoskeletal development. Ann N Y Acad Sci. 1409(1): 18-32. Epub 2017 Aug 22. doi: 10.1111/nyas.13427. PMID: 28833194; PMCID: PMC5730481.
4. Basic Medical Key. (2020). Development of the pectoral girdle and upper limb. URL: https://basicmedicalkey.com/development-of-the-pectoral-girdle-and-upper-limb/
5. Clelland AD, Duncan O, Lam WL. (2022, May). The importance of embryology for parents of children with congenital hand differences. J Hand Surg Eur Vol. 47(5): 475-480. Epub 2021 Dec 8. doi: 10.1177/17531934211064185. PMID: 34878948; PMCID: PMC9008554.
6. Da Cunha MR, Dias AAM, de Brito JM, da Silva Cruz C, Silva SK. (2020). Anatomical study of the brachial plexus in human fetuses and its relation with neonatal upper limb paralysis. Einstein (Sao Paulo). 18: eAO5051. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2020AO5051.
7. Erickson JR, Walker SE, Arenas Gomez CM, Echeverri K. (2024). Sall4 regulates downstream patterning genes during limb regeneration. Developmental Biology. 515: 151-159. https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2023.11.008.
8. Gasser RF, Cork RJ, Stillwell BJ, McWilliams DT. (2014). Rebirth of human embryology. Developmental Dynamics. 243(5): 621-628. https://doi.org/10.1002/dvdy.24168.
9. Guéro S. (2018, Oct). Developmental biology of the upper limb. Hand Surg Rehabil. 37(5): 265-274. Epub 2018 Jul 21. doi: 10.1016/j.hansur.2018.03.007. PMID: 30041930.
10. Hita-Contreras F, Martinez-Amat A, Ortiz R et al. (2012). Development and morphogenesis of human wrist joint during embryonic and early fetal period. Journal of Anatomy. 220(6): 580-590. https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2012.01524.x.
11. Hjazi A, Jasim SA, Al-Dhalimy AMB et al. (2024). HOXA9 versus HOXB9; particular focus on their controversial role in tumor pathogenesis. Journal of Applied Genetics. 65(3): 473-492. https://doi.org/10.1007/s13353-024-00738-2.
12. Khanal S, Pachya U, Thapaliya S et al. (2022). Congenital limb deficiency: A case report. JNMA Journal of the Nepal Medical Association. 60(249): 485-487. https://doi.org/10.31729/jnma.7659.
13. Khmara TV, Koval OA, Tsyhykalo OV, Pankiv TV, Zamorskyi II. (2024). Features of the appearance of primary ossification centers in humans. Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics. 3(99): 115-123. [Хмара ТВ, Коваль ОА, Цигикало ОВ, Паньків ТВ, Заморський ІІ. (2024). Особливості появи первинних центрів скостеніння в людини. Український журнал Перинатологія і Педіатрія. 3(99): 115-123]. https://doi.org/10.15574/PP.2024.3(99).115123.

Читайте нас на сайті: http://med-expert.com.ua

14. Kloc J, Dzula B, Varga I, Klein M, Steno B. (2023). Camptodactyly: From embryological basis to surgical treatment. Medicina (Kaunas). 59(5): 966. https://doi.org/10.3390/medicina59050966.
15. Kumano K, Yamada S, Yamaguchi M, Uwabe C, Takakuwa T. (2022). Upper arm posture during human embryonic and fetal development. Anatomical Record (Hoboken). 305(1): 102-112. https://doi.org/10.1002/ar.24932.
16. Leijnse JN, de Bakker BS, D'Herde K. (2020). The brachial plexus – explaining its morphology and variability by a generic developmental model. Journal of Anatomy. 236(5): 862-882. https://doi.org/10.1111/joa.13277.
17. Markiewicz M, Stirling P, Brennan S, Hooper G, Lam W. (2023). Age-related changes in patients with upper limb thalidomide embryopathy in the United Kingdom. Journal of Hand Surgery European Volume. 48(8): 773-780. Epub 2023 Apr 6. doi: 10.1177/17531934231164093. PMID: 37021538; PMCID: PMC10466990.
18. O'Rahilly R, Müller F. (2010). Developmental stages in human embryos: Revised and new measurements. Cells Tissues Organsю 192(2): 73-84. https://doi.org/10.1159/000289817.
19. Pankiv TV, Khmara TV, Zamorskyi II, Koval YY, Vlasova OV, Skrypnyk VM. (2025). Anatomical-functional and pathological aspects of the mechanisms of interaction of the mother-placenta-fetus system. Modern Pediatrics (Ukraine). 2(146): 1111-1118. https://doi.org/10.15574/SP.2025.2(146).111118.
20. Pichat J, Iglesias JE, Yousry T, Ourselin S, Modat M. (2018). A survey of methods for 3D histology reconstruction. Medical Image Analysis. 46: 73-105. https://doi.org/10.1016/j.media.2018.02.004.
21. Qi F, Deng Z, Ma Y et al. (2020). From the perspective of embryonic tendon development: Various cells applied to tendon tissue engineering. Annals of Translational Medicine. 8(4): 131. doi: 10.21037/atm.2019.12.78. PMID: 32175424; PMCID: PMC7048977.
22. Raszweski JA, Singh P. (2023, Aug 14). Embryology, hand. In StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560822/.
23. Rodríguez-Niedenführ M, Burton GJ, Deu J, Sañudo JR. (2001). Development of the arterial pattern in the upper limb of staged human embryos: Normal development and anatomic variations. Journal of Anatomy. 199(4): 407-417. https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2001.19940407.x.
24. Saxena A, Agarwal KK, Ray B, Pyrtuh S. (2013). A rare finding of the superficial palmar arch – developmental and clinical significance. Journal of Clinical Diagnostic Research. 7(4): 706-708. https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/5153.2944.
25. Sophia L, Singh D, Xalxo N, Yadav A, Agarwal S et al. (2021, Jun 11). Upper limb arterial pattern: clinical correlation and embryological perspective. J Vasc Bras. 20: e20210008. doi: 10.1590/1677-5449.210008. PMID: 34188672; PMCID: PMC8210643.
26. TeachMeAnatomy. (2024). Development of the Limbs – Formation of Limb Buds – Formation of Digits. URL: https://teachmeanatomy.info/?s=Development+of+the+Limbs+-+Formation+of+Limb+Buds+-+Formation+of+Digits.
27. Thirkannad SM, Patil R. (2021, Apr). The Story of the Hand. Indian J Plast Surg. 54(2): 106-113. Epub 2021 Jul 5. doi: 10.1055/s-0041-1729771. PMID: 34239230; PMCID: PMC8257305.
28. Vargesson N, Hooper G, Giddins G, Hunter A, Stirling P, Lam W. (2023). Thalidomide upper limb embryopathy – Pathogenesis, past and present management and future considerations. Journal of Hand Surgery European Volume. 48(8): 814-823. https://doi.org/10.1177/17531934231155752.
29. Vladichenko KA, Koval OA, Smetaniuk OV, Tsyhykalo OV. (2024). Methods of staging prenatal development in comparative embryology. Klinichna ta eksperymentalna patologiya. 23(4): 105-113. https://doi.org/10.24061/1727-4338.XXIII.4.90.2024.15.

Відомості про авторів:

Хмара Тетяна Володимирівна *– д.мед.н., проф., проф. каф. анатомії людини ім. М.Г. Туркевича БДМУ. Адреса: м. Чернівці, Театральна пл., 2; тел. +38 (0372) 55-37-54. https://orcid.org/0000-0003-4699-6600.*

Бірюк Ігор Григорович *– к.мед.н., доц., зав. каф. медицини катастроф та військової медицини БДМУ. Адреса: м. Чернівці, Театральна пл., 2; тел. +38 (0372) 55-37-54. https://orcid.org/0000-0001-8171-2808.*

Паньків Тетяна Василівна *– д.філос., асистент каф. патологічної анатомії БДМУ. Адреса: м. Чернівці, Театральна пл., 2; тел. +38 (0372) 55-37-54. https://orcid.org/0000-0002-2525-562X.*

Кривчанська Мар'яна Іванівна *– к.мед.н., доц., доц. каф. медичної біології та генетики БДМУ. Адреса: м. Чернівці, Театральна пл., 2; тел. +38 (0372) 55-37-54. https://orcid.org/0000-0003-3425-8125.*

Козарійчук Наталія Ярославівна *– к.мед.н., доц. каф. дитячої хірургії, отоларингології та офтальмології БДМУ. Адреса: м. Чернівці, Театральна пл., 2; тел. +38 (0372) 55-37-54. https://orcid.org/0000-0002-8884-507X.*

Стаття надійшла до редакції 14.10.2025 р., прийнята до друку 16.03.2026 р.