

DOI: <https://doi.org/10.32345/2664-4738.2.2024.11>
УДК: 611.81/.82:616-053.13

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ КРАЙОВОГО ТА ГРУДНОГО ЯДЕР ЗАДНІХ РОГІВ СПИННОГО МОЗКУ ЛЮДИНИ У ПРЕНАТАЛЬНОМУ ПЕРІОДІ

Приходько С.О. <https://orcid.org/0000-0002-3701-5332>
Школьніков В.С. <https://orcid.org/0000-0001-8233-1863>
Залевський Л.Л. <https://orcid.org/0000-0001-8353-0063>
Стельмашук П.О. <https://orcid.org/0009-0000-6843-6888>
Данилевич В.П. <https://orcid.org/0000-0002-8074-6130>

Вінницький національний медичний університет імені Миколи Івановича Пирогова, Вінниця, Україна

wieworka1990@gmail.com

Актуальність. Ембріологія – це базова наука, що забезпечує розуміння етапів формування центральної нервової системи та механізми розвитку її структур. Таким чином, у нас є можливість встановити чіткі часові проміжки формування грудного та крайового ядер в період внутрішньоутробного розвитку.

Ціль: морфогенез крайового та грудного ядер задніх рогів спинного мозку людини у внутрішньоутробному періоді.

Матеріали та методи. З дотримання усіх норм біоетики було використано 134 препарати ембріонів та плодів людини віком від 6–7 до 39–40 тижнів внутрішньоутробного розвитку. Використовуючи загальні гістологічні та спеціальні гістологічні методи, забарвлення здійснювали гематоксиліном і еозином, а також толуїдиновим синім (за методикою Ніссля), Ван Гізон. Також була застосована імпрегнація сріблом за Більшовським.

Результати. В терміні 7–8 тижнів гестації з'являються перші ознаки формування грудного ядра, тоді як для крайового – це період 9–10 тижня гестації. Надалі клітинами-супровідниками є гліальні клітини, які завжди оточують нейрони. В свою чергу для клітин кожного ядра характерна однорідність та подібність за формою та розмірами. У 11–12 тижнів гестації грудне ядро набуває типової овальної форми. Крайове ядро починає відмежовуватись від драглистої речовини. Чіткі межі грудного ядра із притаманною йому овальною формою, у порівнянні із крайовим, формуються раніше і виявлені нами в терміні 14–15 тижнів гестації. Тоді як крайове ядро чітко відмежовується від оточуючих структур в терміні 20–21 тиждень гестації. До 29–30 тижня грудне та крайове ядра завершують формувати межі та займають положення відповідно до топографії.

Висновки. Отже, враховуючи отримані нами дані стало зрозуміло, що грудне ядро починає формуватись раніше, а ніж крайове. У подальшому грудне ядро набуває притаманної йому форми, тоді як крайове – починає відмежовуватись від оточуючих тканин. 29–30 тижнь гестації характеризується завершенням формування обох ядер та розташування відповідно до притаманної їм топографії.

Ключові слова: центральна нервова система, спинний мозок, сіра речовина, ембріон, внутрішньоутробний розвиток, нейрон, гліоцит.

Актуальність. Прогресивний розвиток нейроанатомії, як науки та досліджень ембріогенезу центральної нервової системи відіграють провідну роль у розумінні структури, а як наслідок її функцій. Центральна нервова система є тією домінуючою структурою, яка відіграє головну роль у злагодженому функціонуванні людського організму, як єдиної одиниці [1]. Для науковців, практикуючих медичних працівників та у цілому для медичної та наукової спільноти є важливим розуміння процесів ембріогенезу відповідно до специфіки роботи. Розуміння процесів гістогенезу та органогене-

зу є ключовим моментом у виникненні деяких вроджених вад, розвитку хвороб, тощо [2].

Спинний мозок є ключовим елементом нервової системи, який відповідає за обробку інформації, її транспорт та регуляцію рухів тіла. Він взаємодіє з мозковими нервами і відправляє сигнали до м'язів, щоб забезпечувати рухову активність [3]. Крім того, спинний мозок має важливу роль у сенсорній обробці інформації, тобто у сприйнятті сигналів від різних частин тіла і транспорті цих сигналів у мозок для подальшого аналізу та реакції. Таким чином, він є важливим компонентом системи керування

рухами та інтеграції сенсорної інформації [4].

Враховуючи важливість таких досліджень для розуміння нормального розвитку та факторів, що впливають на нього, результати цієї роботи можуть бути корисними для клінічної медицини, розробки лікування та попередження вроджених вад [5].

Отже, розуміючи основні механізми процесу ембріогенезу, фізіологію досліджуваної системи чи органу можна будувати ланцюжок патологічних процесів та підбирати відповідну дієву терапію [6]. Крім того, впроваджувати отримані знання у діагностичній сфері і відповідно розробляти актуальні методи профілактики.

Не дивлячись на актуальність проблеми варто підкреслити той факт, що більшість статей та публікацій на цю тему є застарілими і публікувалися більше 10 років назад, у зв'язку з чим необхідно оновлювати дані та, за потреби, вносити корективи у ті результати, які уже маємо [7].

З чим пов'язано зростання актуальності даного питання? В першу чергу з тим, що вдосконалюються методи дослідження, розширюючи наш кругозір та надаючи нові можливості. Ембріологія завжди буде актуальною та перспективною, як галузь досліджень, оскільки часи змінюються, обладнання покращується, можливостей стає більше, ну і відповідно, достовірних результатів наукових досліджень також [8].

Ціль: морфогенез крайового та грудного ядер задніх рогів спинного мозку людини у внутрішньоутробному періоді.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Наше дослідження є елементом науково-дослідної роботи Вінницького національного медичного університету імені Миколи Івановича Пирогова, що було виконано кафедрою анатомії людини: «Встановлення морфологічних змін утворів центральної нервової системи людини протягом пренатального періоду онтогенезу, номер державної реєстрації 0118U001043.

Для дослідження ембріонального та пло-

дового розвитку людини за умови відсутності впливу шкідливих чинників, включаючи зовнішнє та внутрішнє середовище матері, було використано 134 препарати ембріонів та плодів людини віком від 6–7 до 39–40 тижнів внутрішньоутробного розвитку. При проведенні дослідження нами було виконано усе згідно "Дотримання етичних та законодавчих норм і вимог при виконанні наукових морфологічних досліджень". Комісією з питань біомедичної етики Вінницького національного медичного університету імені Миколи Івановича Пирогова було видано експертне заключення (протокол засідання Комітету біоетики №10 від 6 грудня 2018 року) згідно якого, робота виконана з дотриманням основних положень Конвенції Ради Європи про права людини і біомедицину (1997) та матеріали дослідження не заперечують основним нормам біоетики Гельсінської декларації про етичні принципи проведення науково-медичних досліджень за участю людини прийнятої 59-ою Генеральною асамблеєю Всесвітньої медичної асоціації у 2008 році. Крім того дане дослідження виконано по основних положеннях Good Clinical Practice (1996). Дослідницька робота проводилась згідно договору від 2017 року про сумісну наукову та практичну діяльність із Вінницьким обласним патологоанатомічним бюро про що складались протоколи патологоанатомічного дослідження відповідно до форми № 013-2/о затвердженої наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.08.2004 №417. Процедури були схвалені належним чином місцевим комітетом з питань біоетики.

Забарвлення здійснювали гематоксиліном і еозином, а також толудіновим синім (за методикою Ніссля), Ван Гізон. Крім того, виконували імпрегнацію сріблом за Більшовським.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У період 6–7 тижня внутрішньоутробного розвитку клітини починають ущільнюватися, проте відмежувати ті, чи інші ядра не можливо (рис. 1, А). На початку плодового періоду з'являються перші ранні ознаки диференціювання грудного ядра: скупчення нейральних клі-

тин у вентро-присередній частині задніх рогів грудних сегментів ембріонів у віці 7–8 тижнів, що формує грудне ядро. В середньому 22–24 овальних нейрони беруть участь у формуванні ядра, додатково їх оточують від 28 до 30 клітин глії (клітини-супутники). Крайове ядро в даному періоді не окреслюється.

У 8–9 тижнів спостерігається збільшення площі грудного ядра, нейрони набувають сферичної форми, їхня кількість становить від 19 до 21, тоді як клітин глії – 25–26 (див. рис. 1,Б). У протипагу, крайове ядро починає формуватися в терміні гестації 9–10 тижнів і представлене однорідними нейронами як за розмірами, так і формою

Для 11–12 тижня гестації є характерною ознакою розташування крайового ядра в ділянці верхівки заднього рогу, який межує із заднім канатиком, тоді як грудне ядро уже набуває

форми овалу, складається з 16–18 кулястих, рідше полігональної форми, нейронів (див. рис. 1,В). Нейрони грудного ядра оточені 24–25 гліальними клітинами.

У 14–15 тижнів, завдяки дрібним овальним та грушоподібним нейронам з вираженою гіперхромністю, можливо відрізнити крайове ядро від інших структур (див. рис. 1,Г). Топографічно воно розташовується у ділянці верхівки задніх рогів спинного мозку плода та прилягає до заднього канатика. Для гліальних клітин крайового ядра характерна виражена базофільність. Слід зазначити, що в цьому ж терміні грудне ядро має овальну форму із полюсами, які орієнтовані спереду-назад та латерально.

В грудному ядрі у середньому виявили 15–17 нейронів, переважно вони мали округлу форму, трохи рідше полігональну. Ці нейрони

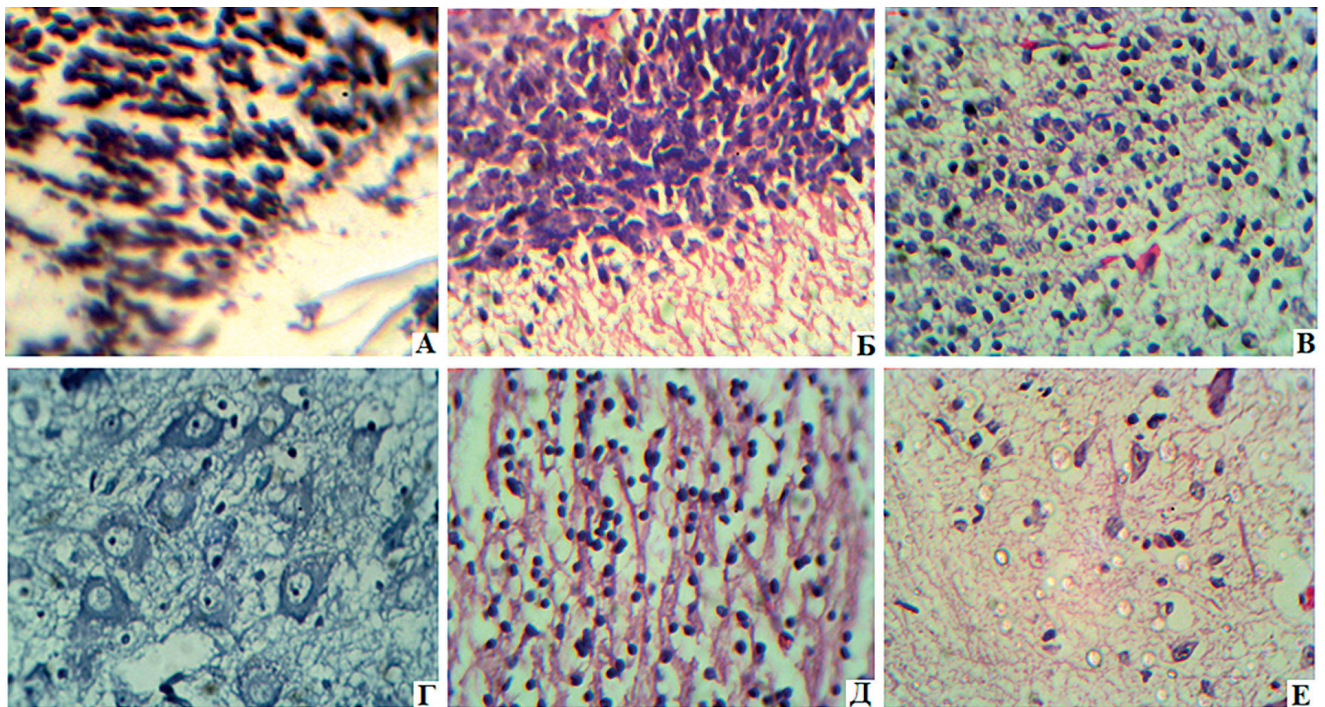


Рис. 1. Горизонтальний перетин спинного мозку людини:

- А. 6–7 тижнів гестації. Організація структури нейроепітеліального шару. Імпрегнація сріблом за Більшовським; $\times 400$.
- Б. 8–9 тижнів гестації. Початок формування крайового ядра. Гематоксилін-еозин; $\times 400$.
- В. 11–12 тижнів гестації. Нейрони та клітини глії крайового ядра на рівні шийного стовщення. Гематоксилін-еозин; $\times 400$.
- Г. 14–15 тижнів гестації. Грудне ядро. Толуїдиновий синій (модифікація за Ніссль); $\times 400$.
- Д. 20–21 тиждень гестації. Крайове ядро. Гематоксилін-еозин; $\times 400$.
- Е. 29–30 тижнів. Крайове ядро. Гематоксилін-еозин. $\times 400$.

включають ядра з децентральним розташуванням на протилежному полюсі від аксонального горбика. Нейрони мають біполярну будову відповідно до конфігурації відростків та оточені 24–25 гліальними клітинами.

На 20–21 тижні гестації крайове ядро утворене дрібними веретеноподібними та кулястими гіперхромними та нормохромними нейронами, які є однорідними (див. рис. 1,Д). За своєю структурою нейрони уже мають аксон та дендрит, при чому аксон довший від дендриту, а сам дендрит доволі розгалужений. Для гліальних клітин крайового ядра притаманна різка базофільність та еліпсоподібна форма. Розповсюдження відростків даних нейронів відбувається у напрямку до бічних і задніх канатиків. Між нейронами драглистої речовини та нейронами крайового ядра в даному терміні не існує чіткого розмежування.

Щодо грудного ядра в терміні 20–21 тиждень гестації, то його форма і направленість полюсів залишається незмінною. За конфігурацією відростків зберігається біполярна будова. Без змін залишається і наявність 22–23 гліальних клітин. Для тіл гліальних клітин притаманна еліпсоподібна форма, цитоплазма різко базофільна.

У 29–30 тижнів структура крайового ядра представлена нейронами із невеликими розмірами, відростки яких прямують у двох напрямках: дорзальному та вентральному, таким чином відповідають розташуванню задніх та бічних канатиків (див. рис. 1,Е). Межі крайового ядра чітко відмежовані від драглистої речовини. Такі зміни є характерними не лише для поперекових сегментів, а і для крижових.

Крайове ядро починає виокремлюватися лише у 39–40 тижнів, на відміну від грудного, межі якого окреслюються на багато раніше, що говорить про його активніший розвиток.

Ґрунтуючись на отриманих даних початок формування задніх рогів припадає на 6–7 тиждень гестації, тоді як за результатами А. Рутел та співавт. такі процеси характерні для 5 тижня гестації [9]. Як наші колеги, так і ми визнаємо ядра в цей період не дефінітивними. Крім того, результати, які ми отримали на 7–8 тижні гестації співпадають з результатами А. Рутел та

співавт. – це період початку формування грудного ядра [9].

G. J. Slowry та співавт. дослідили 20 плодів людини і результати їхніх досліджень частково співпадають з тими, що отримали ми [10]. За даними наших колег початок диференціювання нейронних комплексів починається з 9 тижня гестації, а одним із перших формується саме грудне ядро.

Таким чином результати дослідження є однозначно актуальними, оскільки не досягнуто єдиного консенсусу щодо часового проміжку утворення нейронних гліальних комплексів.

ВИСНОВКИ

1. У 6–7 тижнів гестації межі крайового та грудного ядра відсутні.
2. На 7–8 тижні гестації починає формуватися грудне ядро, проте виокремити чіткі його контури та встановити форму не можливо.
3. У 9–10 тижнів починається формування крайового ядра та відмічається збільшення площі грудного ядра.
4. У 11–12 тижнів гестації грудне ядро набуває типової овальної форми. Крайове ядро починає відмежовуватись від драглистої речовини і даний процес відповідає становленню верхівки задніх рогів.
5. До 29–30 тижня грудне та крайове ядра завершують формувати межі та займають положення відповідно до топографії, проте процес диференціювання нейронів продовжується.

Конфлікт інтересів. Автори даного рукопису стверджують, що конфлікт інтересів під час виконання дослідження та написання рукопису відсутній.

Джерела фінансування. Виконання даного дослідження та написання рукопису було виконано без зовнішнього фінансування.

REFERENCES

1. Arulkandarajah K, Osterstock G, Lafont A, Le Corronc H, Escalas N, Corsini S, Le Bras B, Chenane L, Boeri J, Czarnecki A, Christine M, Bullier E, Hong E, Soula C, Legendre P, Mangin

1. J. Neuroepithelial progenitors generate and propagate non-neuronal action potentials across the spinal cord. *Current Biology*.2021; 31(20): 4584–4595. DOI: 10.1016/j.cub.2021.08.019.
2. Bardoni R. Serotonergic Modulation of Nociceptive Circuits in Spinal Cord Dorsal Horn. *Curr Neuropharmacol*.2019;17(12):1133–1145. DOI: 10.2174/1570159X17666191001123900.
3. Kuzmicz-Kowalska K, Kicheva A. Regulation of size and scale in vertebrate spinal cord development. *Developmental Biology*.2021;10(3):383–384. DOI: 10.1002/wdev.383.
4. Srivastava G. Langman's medical embryology by T. Sadler. *Era's Journal of Medical Research*.2018;5(1):86–87. DOI: 10.24041/ejmr2018.70.
5. Lavezzi A, Alfonsi G, Pusiol T. De-creased argyrophilic nucleolar organiser region (AgNOR) expression in Purkinje cells: first signal of neuronal damage in sudden fetal and infant death. *Journal of Clinical Pathology*. 2016;69(1):58–63. DOI: 10.1136/jclinpath-2015-202961
6. Литвинюк С, Волков К, Вольська А, Небесна З, Крамар С. Структурна реорганізація нейронів СА1 поля гіпокампа в динаміці після експериментальної термічної травми. *Запорізький медичний журнал*.2017;2(101):200–205. Available on: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NFL_2016_48_6_4
7. Herculano-Houzel S. Numbers of neurons as biological correlates of cognitive capability. *Current Opinion in Behavioral Sciences*.2017;16:1–7. Available on: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352154616302637>.
8. Zalevskiy L, Shkolnikov V, Prykhodko S. Histostructural organization of the cerebellum of human fetuses for 8-9 weeks of prenatal development. *Reports of Morphology*.2019; 25(3):45–51. DOI: 10.31393/morphology-journal-2019-25(3)-08
9. Pytel A, Bruska M, Wozniak W. Differentiation of the nuclear groups in the posterior horn of the human embryonic spinal cord. *Folia Morphol*.2011; 70(4): 245-251. Available on: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22117241>.
10. Clowry G, Moss A, Clough R. An immunohistochemical study of the development of sensorimotor components of the early fetal human spinal cord. *Journal of anatomy*.2005; 207(4):313-324. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2005.00468.x.

Article history:

Received: 10.03.2024

Revision requested: 15.03.2024

Revision received: 22.05.2024

Accepted: 25.06.2024

Published: 30.06.2024

STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE MARGINAL AND THORACIC NUCLEI OF THE POSTERIOR HORNS OF THE HUMAN SPINAL CORD IN THE PRENATAL PERIOD

*Prykhodko S.O., Shkolnikov V.S., Zalevskiy L.L., Stelmashchuk P.O.,
Danylevych V.P.*

Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine

wieworka1990@gmail.com

Background. Embryology is the fundamental study that provides insights into the formation stages of the central nervous system and the mechanisms involved in its development. Thus, we can establish clear time intervals for thoracic and marginal nuclei formation during intrauterine development.

Aim: To investigate the morphogenesis of the marginal and thoracic nuclei of the posterior horns of the human spinal cord during intrauterine development.

Results. In the period of 7-8 weeks of gestation, the first signs of the formation of the thoracic nucleus appear, while for the marginal - 9-10 weeks of gestation. Glial cells are companion cells that always surround neurons. In turn, the cells of each nucleus are characterized by uniformity and similarity in shape and size. At 11-12 weeks of gestation, the thoracic nucleus acquires a typical oval shape. The marginal nucleus begins to separate from the gelatinous substance. Clear boundaries of the thoracic nucleus with its inherent oval shape, in comparison with the marginal one, are formed earlier. We found them in 14-15 weeks of gestation. At the same time, the marginal nucleus is separated from the surrounding structures in 20-21 weeks of gestation. By 29-30 weeks, the thoracic and marginal nuclei finish forming boundaries and occupy positions according to the topography, but the process of neuronal differentiation continues until birth.

Conclusion. Understanding the stages of fetal development is critical for ensuring healthy pregnancies. So, considering the data we obtained, it became clear that the thoracic nucleus begins to form earlier than the marginal one. The difference in period is on average 3-4 weeks of gestation. Later, the thoracic nucleus acquires its characteristic shape, while the peripheral nucleus begins to separate from the surrounding tissues. The 29-30th week of gestation is characterized by the completion of the formation of both nuclei and their location by their inherent topography.

Key words: central nervous system, spinal cord, gray matter, embryo, intrauterine development, neuron, gliocyte.