

- i doklady [Nephrology seminar 2010. Proceedings of the XVIII annual St. Petersburg nephrology seminar. Abstracts and Reports]. 2010;50-52.
12. Tanase A, Cepoida P, Evdokimov L, et al. Insuficiența renală cronică terminală sub dializă [Terminal chronic renal failure on dialysis]. Protocol clinic național [National Clinical Protocol]. Chișinău, 2009;128.
13. Sidorov PI, Parnyakov AV. Vvedenie v klinicheskuyu psikhologiyu [Introduction to clinical psychology]. Tom I [Volume I]. Moskva [Moscow]: Академический Проект [Academic Project], 2000;416.
14. Guide de practică medicală pentru reabilitare și intervenție psihologică la pacientul cu boala cronică renală [Medical practice guideline for rehabilita-

- tion and psychological intervention in patients with chronic kidney disease]. <http://www.lege-online.ro/Ir-GHID-din-2010-%28129068%29.html>
15. Ghidul pacientului hemodializat [Guide for hemodialysis patients]. [http://www.fresenius.ro/the\\_admin/attach/Ghidul%20Pacientului%20Hemodializat.pdf](http://www.fresenius.ro/the_admin/attach/Ghidul%20Pacientului%20Hemodializat.pdf)
16. Vasileva IA. K otsenke kachestva zhizni bolnykh s terminalnoy pochechnoy nedostatochnostyu [About assessing the quality of life of patients with end stage renal failure]. <http://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-kachestva-zhizni-bolnyh-s-terminalnoy-pocheknoy-nedostatochnostyu>

## Morphology of the spinal cord of human fetuses 35-36 weeks of intrauterine development

V. S. Shkolnikov

Department of Human Anatomy, N. I. Pirogov National Medical University of Vinnitsa, Ukraine

Corresponding author: v.shkolnikov@gmail.com. Manuscript received April 14, 2014, accepted May 15, 2014

### Abstract

**Background:** The fetal viability till the birth moment and subsequent development of a child depend on the features of the processes of human prenatal development. The embryogenesis and formation of structures of the central nervous system are of the crucial importance in the chain of processes of prenatal period.

**Material and methods:** The spinal cord of human fetuses aged 35-36 weeks of fetal development was studied with the help of anatomical, common histological, morphometric and statistical methods. Causes of stillbirths as a result of diseases of CNS structures were excluded.

**Results:** As a result of this work morphometric parameters of the structures of the spinal cord segments were established. The topography of gray and white matter was studied. The groups of neurons in the cervical thoracic, lumbar and sacral parts of the spinal cord, as well as the nature of their differentiation were investigated. Specific properties of the histological structure of the ependymal (matrix) layer and its share in the gray matter were established.

**Conclusions:** Segments that make up the cervical and lumbosacral thickenings have the greatest morphometric parameters. Lower sacral segments have the lowest parameters. The area of white matter prevails over the area of the gray matter, with the exception of the sacral segments. Motor neurons are the largest and most differentiated, after them associative neurons, autonomic neurons being the smallest and less differentiated. The thickness of ependymal (matrix) layer of all segments decreases in the dorsal direction, the thickness of the basal membrane varies depending on the part of spinal cord.

**Key words:** spinal cord, gray matter, white matter, ependymal layer, neural stem cells.

## Морфология спинного мозга плода человека 35-36 недель внутриутробного развития

### Введение

Исследование дифференцировки органов и тканей относится к одному из ведущих направлений современной биологии и медицины, важнейшим аспектом которого является всестороннее изучение пренатального онтогенеза [9]. От особенностей протекания процессов внутриутробного развития человека зависит жизнеспособность плода к моменту рождения и последующее развитие ребенка [6]. Доминантным звеном в цепи процессов пренатального периода является эмбриогенез и становление структур центральной нервной системы [7].

Спинальный мозг – важный центр регуляции функций внутренних органов и сомы – характеризуется рядом закономерностей развития и строения как в фило-, так и в онтогенезе [10]. Современные работы по морфологии спинного мозга единичны и посвящены изучению отдельных вопросов и, как правило, они касаются лабораторных животных. Отсутствуют нормативные показатели и морфометрический анализ структур спинного моз-

га человека в пренатальном онтогенезе, нет упорядоченной, четкой архитектоники функционально различных нейронных комплексов в сером веществе на различных уровнях, фактически отсутствуют научные сообщения о трансформации невральных стволовых клеток в нейробласты или глиобласты.

Таким образом, целью настоящего исследования стало морфометрическое изучение структур сегментов спинного мозга плода человека 35-36 недель внутриутробного развития на разных уровнях, а также установление характера архитектоники и дифференцировки клеток серого вещества. Данная работа является фрагментом научно-исследовательской работы, который касается комплексного анатомо-гистологического исследования спинного мозга человека на протяжении пренатального периода развития. Полученные результаты будут сравнены с аналогичными у плодов человека с аномалиями развития спинного мозга.

### Материал и методы

Проведено анатомо-гистологическое исследование спинного мозга 12 плодов человека возрастом 35-36 недель внутриутробного периода онтогенеза теменно-копчиковой длиной  $35,8 \pm 3,7$  см и весом  $2925,4 \pm 174,8$  г (аномалии развития отсутствовали).

Материал для исследования был получен в результате мертворождения. Причины мертворождения от заболеваний структур ЦНС были исключены. Фиксация материала производилась в 10% нейтральном растворе формалина. В последующем изготавливались целлоидиновые и парафиновые блоки для выполнения серийных срезов спинного мозга толщиной 8-10 мкм. Препараты окрашивали гематоксилин-эозином, толуидиновым синим, по Ван-Гизону и импрегнацией серебром по Бильшовскому.

Полученные препараты оценивали визуально при помощи микроскопа Micromed XS 5520, видеозахват осуществляли камерой ScienceLab DCM 520. Были использованы увеличения  $\times 2$ ,  $\times 4$ ,  $\times 10$  и  $\times 40$ . Во время морфометрического исследования спинного мозга была применена компьютерная гистометрия (Photo M 1.21).

Статистическая обработка цифровых данных производилась с помощью стандартного программного пакета «Statistica 8.0» фирмы Statsoft. Оценивалась правильность распределения признаков в полученном вариационном ряду средние значения по каждому признаку, а также стандартные отклонения.

### Результаты исследования

В процессе исследования нами установлено, что длина спинного мозга плода человека 35-36 недель внутриутробного периода развития составила  $150,2 \pm 4,2$  мм. Чётко различаются утолщения, а также относительно хорошо выражены передняя срединная щель и борозды спинного мозга (рис. 1). Диаметр в месте перехода спинного мозга в продолговатый равен  $6,0 \pm 0,4$  мм. Длина шейного утолщения –  $34,0 \pm 3,3$  мм, ширина –  $6,5 \pm 0,5$  мм. Диаметр грудных сегментов в узкой части составил  $4,0 \pm 0,5$  мм. Длина пояснично-крестцового утолщения равна  $23,0 \pm 2,6$  мм и ширина –  $5,5 \pm 0,5$  мм.

При исследовании получены следующие линейные

морфометрические параметры структур шейных сегментов на уровне  $C_6-C_7$ : передне-задний размер составил  $4,2 \pm 0,2$  мм, поперечный размер –  $6,4 \pm 0,3$  мм.

Площадь серого вещества равна  $8,8 \pm 0,5$  мм<sup>2</sup>. Само серое вещество на горизонтальном срезе имеет четкое разделение на передние и задние рога (рис. 2). Ширина передних и задних рогов соответственно составляет  $1,7 \pm 0,2$  мм и  $1,0 \pm 0,2$  мм. Обе половины серого вещества сегмента соединены между собой перемычкой в центре которой располагается центральный канал, разделяя ее на переднюю и заднюю серые спайки. Толщина передней серой спайки равна  $161,1 \pm 7,5$  мкм, толщина задней серой спайки  $135,5 \pm 4,4$  мкм. В переднем роге располагаются передне-медиальное, передне-латеральное и задне-латеральное ядра, которые представлены крупными двигательными нейронами на различных стадиях дифференцировки (рис. 3). Наиболее дифференцированные двигательные нейроны, составляющие вышеуказанные группы клеток, имеют вытянутую форму, средние размеры –  $67,2 \pm 2,8 \times 18,8 \pm 0,7$  мкм и общей площадью в  $915,6 \pm 29,6$  мкм<sup>2</sup>. Относительно крупные ядра нейронов располагаются ближе к аксональному холмику. Площадь такого ядра равна  $195,6 \pm$  мкм<sup>2</sup>, размеры –  $18,7 \pm 0,6 \times 15,3 \pm 0,5$  мкм. Также, критерием более дифференцированных нейронов служит наличие относительно большого количества цитоплазмы (занимает 78,0% всей площади), которая заполнена мелкими гранулами эндоплазматического ретикулума (субстанция Ниссля).

Стенка центрального канала представлена эпендимным (матричным) слоем, который состоит из невральных стволовых клеток (НСК) продолговатой формы. Следует заметить, что выйдя в мантийный слой, НСК имеют овальную или круглую форму. Морфометрические параметры НСК нами получены следующие: площадь составляет  $31,0 \pm 2,8$  мкм<sup>2</sup>, линейные размеры –  $3,6 \pm 0,5 \times 9,7 \pm 0,7$  мкм. Наиболее ранние НСК располагаются у базальной мембраны, толщина которой равна  $4,1 \pm 0,4$  мкм. Толщина эпендимного слоя уменьшается в дорсальном направлении. Так, толщина его в передней серой спайке составила  $37,2 \pm 1,3$  мкм, в боковой части –  $33,8 \pm 1,1$  мкм и в задней серой спайке –  $25,9 \pm 0,8$  мкм.



Рис. 1. А - общий вид спинного мозга плода человека 35-36 недель внутриутробного периода развития. Вентральная поверхность. Б - шейное утолщение. Вентральная поверхность.

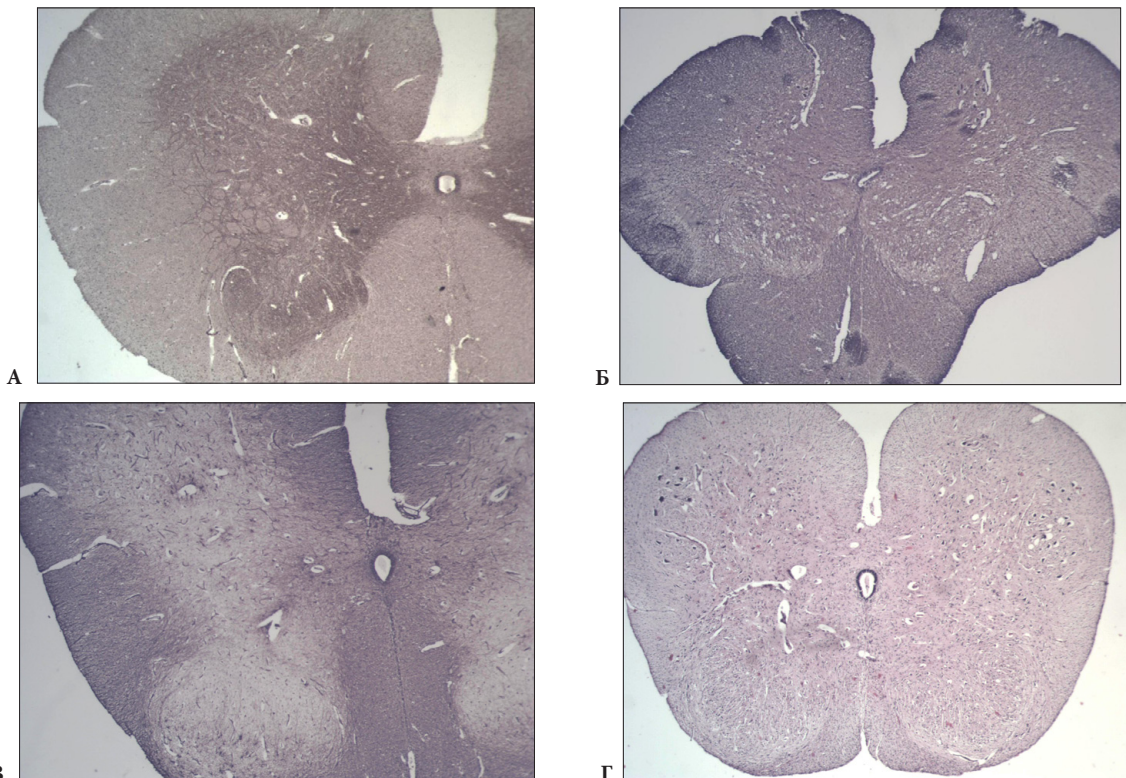


Рис. 2. А - шейные сегменты на уровне С<sub>6</sub>-С<sub>7</sub>. Окр.-синаптофизин. Ув. × 2. Б - грудные сегменты на уровне Th<sub>7</sub>-Th<sub>8</sub>. Окр.-S-100. Ув. × 2. В - поясничные сегменты на уровне L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>. Окр.-виментин. Ув. × 2. Г - крестцовые сегменты на уровне S<sub>2</sub>-S<sub>3</sub>. Окр.-гематоксилин-эозин. Ув. × 2. Lintro ad condiis erenam, untela ocae contes re comande faursum non

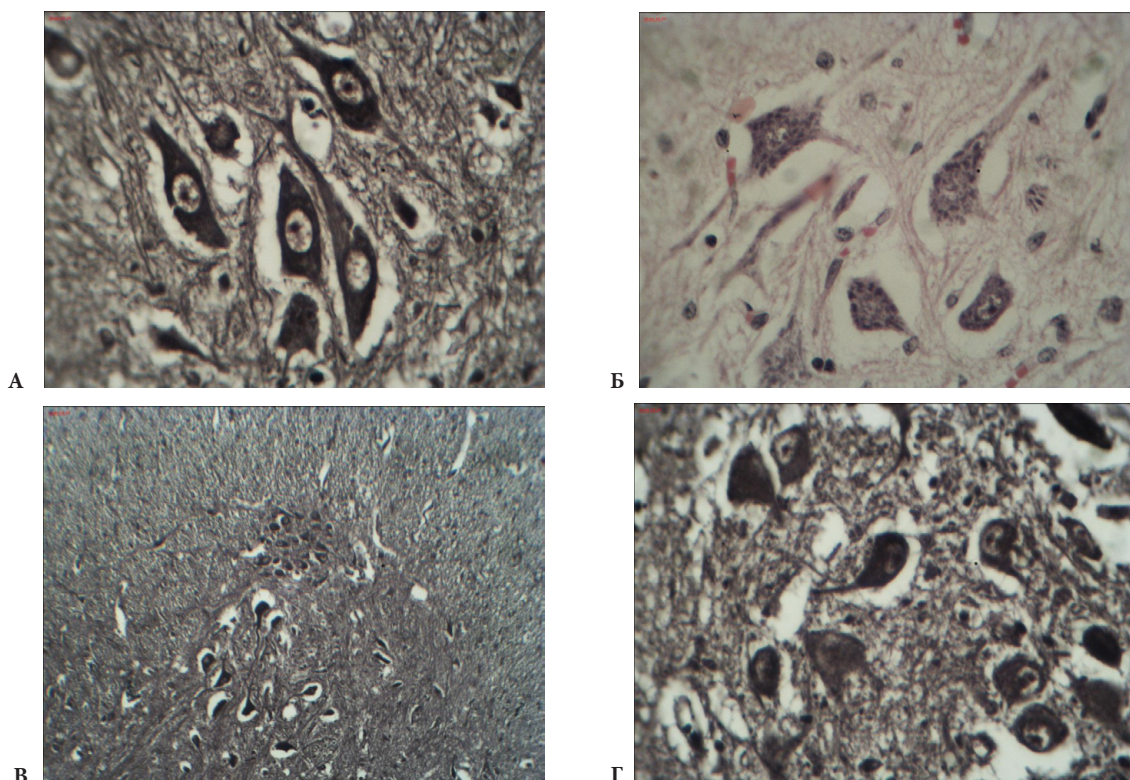


Рис. 3. А - нейроны передне-медиальной группы шейных сегментов. Окр. импрегнация серебром по Бильшовскому. Ув. × 40. Б - нейроны передне-латеральной группы шейных сегментов. Окр.-гематоксилин-эозин. Ув. × 40. В - границы бокового рога верхних грудных сегментов: промежуточно-латеральное ядро, состоящее из мелких нейронов и промежуточно-медиального ядра, состоящее из крупных нейронов. Окр. импрегнация серебром по Бильшовскому. Ув. × 10. Г - нижние грудные сегменты: нейроны грудного ядра. Окр. импрегнация серебром по Бильшовскому. Ув. × 40.

Площадь эпендимного слоя в целом составила  $0,02 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ . Площадь центрального канала также равна  $0,02 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ . Линейные размеры центрального канала: передне-задний размер –  $144,2 \pm 5,9 \text{ мкм}$ , поперечный размер –  $139,8 \pm 4,7 \text{ мкм}$ .

Площадь белого вещества шейных сегментов на уровне  $C_6$ - $C_7$  равна  $10,9 \pm 0,5 \text{ мм}^2$ . Белое вещество, благодаря выраженным передней срединной щели и бороздам, четко разделяется на передний, боковой и задний канатики. Площадь и толщина переднего канатика составляют соответственно  $0,9 \pm 0,1 \text{ мм}^2$  и  $558,3 \pm 20,7 \text{ мкм}$ . Площадь и толщина бокового канатика соответственно равны  $3,2 \pm 0,3 \text{ мм}^2$  и  $1,1 \pm 0,2 \text{ мм}$ . Задний канатик состоит из тонкого и клиновидного пучков. Площадь тонкого пучка на данном уровне среза составила  $0,6 \pm 0,1 \text{ мм}^2$ , а площадь клиновидного пучка –  $1,1 \pm 0,3 \text{ мм}^2$ .

Морфометрические параметры грудных сегментов на уровне  $Th_7$ - $Th_8$  имеют такие размеры: передне-задний –  $2,8 \pm 0,1 \text{ мм}$  и поперечный –  $3,9 \pm 0,2 \text{ мм}$ .

Общая площадь серого вещества равна  $3,8 \pm 0,4 \text{ мм}^2$ . Серое вещество грудных сегментов также образует передние и задние рога (рис. 2). Ширина передних рогов равна  $880,4 \pm 44,0 \text{ мкм}$ , ширина задних рогов –  $505,1 \pm 21,2 \text{ мкм}$ . Боковые рога относительно лучше сформированы в верхних грудных сегментах, ниже представлены промежуточным веществом. В связи с этим, промежуточно-латеральная группа нейронов имеет выраженный характер в верхних грудных сегментах (рис. 3). Такие группы может составлять до 15 нейронов круглой или овальной формы. Средняя площадь нейрона равна  $312,7 \pm 11,9 \text{ мкм}^2$ , размерами  $14,7 \pm 0,5 \times 22,5 \pm 0,7 \text{ мкм}$ . Ядро располагается несколько дальше от аксонального холмика. Площадь ядра –  $104,9 \pm 4,9 \text{ мкм}^2$ , размеры –  $9,5 \pm 0,7 \times 12,7 \pm 0,4 \text{ мкм}$ . Количество цитоплазмы составляет 66,0% всей площади клетки.

В отличие от промежуточно-латеральной группы нейронов в нижних грудных сегментах четко выражено грудное ядро, состоящее из клеток преимущественно округлой формы (рис. 3). Средние морфометрические параметры нейронов следующие: площадь –  $422,4 \pm 16,5 \text{ мкм}^2$ , линейные размеры –  $22,6 \pm 0,8 \times 26,1 \pm 0,5 \text{ мкм}$ . Площадь ядра равна  $129,9 \pm 5,3 \text{ мкм}^2$ , размеры –  $11,6 \pm 0,6 \times 13,3 \pm 0,8 \text{ мкм}$ . Цитоплазма составляет 69,0% всей площади нейрона.

Нейроны, составляющие промежуточно-медиальную группу (рис. 3), имеют среднюю площадь  $653,4 \pm 30,1 \text{ мкм}^2$  и размеры –  $19,9 \pm 0,4 \times 29,5 \pm 0,4 \text{ мкм}$ . Ядро имеет овальную форму, площадью в  $101,8 \pm 4,0 \text{ мкм}^2$  и размерами  $6,8 \pm 0,3 \times 13,6 \pm 0,6 \text{ мкм}$ . Цитоплазма составляет 84,0% всей площади клетки.

Из двигательных комплексов клеток наиболее выражены медиальные группы нейронов, которые расположены на всем протяжении грудных сегментов. Площадь тела нейрона равна  $691,4 \pm 36,6 \text{ мкм}^2$ , размеры –  $21,8 \pm 0,7 \times 40,1 \pm 0,5 \text{ мкм}$ . Площадь ядра –  $191,1 \pm 7,1 \text{ мкм}^2$ , размеры –  $14,1 \pm 0,4 \times 19,4 \pm 0,5 \text{ мкм}$ . Цитоплазма составляет 72,0% всей площади клетки.

Часть серого вещества составляет эпендимный слой, толщина которого уменьшается в передне-заднем направлении. Толщина эпендимного слоя в вентральной части –  $28,2 \pm 1,0 \text{ мкм}$ , в боковом отделе –  $17,8 \pm 0,7 \text{ мкм}$  и в дорсальной части –  $14,6 \pm 0,3 \text{ мкм}$ . НСК эпендимного слоя имеют веретеновидную форму. Средняя площадь НСК грудных сегментов равна  $29,8 \pm 1,8 \text{ мкм}^2$ , линейные размеры –  $3,1 \pm 0,5 \times 9,2 \pm 0,6 \text{ мкм}$ . Толщина базальной мембраны –  $3,2 \pm 0,4 \text{ мкм}$ . Средняя площадь эпендимного слоя на горизонтальном срезе грудных сегментов составила  $0,01 \pm 0,005 \text{ мкм}^2$ . Сам центральный канал имеет площадь  $0,02 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ . Линейные размеры центрального канала: передне-задний размер –  $190,4 \pm 9,1 \text{ мкм}$ , поперечный размер –  $93,3 \pm 4,9 \text{ мкм}$ .

Площадь белого вещества грудных сегментов на уровне  $Th_7$ - $Th_8$  равна  $4,3 \pm 0,3 \text{ мм}^2$ . Белое вещество имеет четкое гистологическое деление на канатики. Наибольшую площадь имеет боковой канатик –  $1,2 \pm 0,2 \text{ мм}^2$ . Площадь переднего канатика равна  $0,5 \pm 0,1 \text{ мм}^2$ . Задний канатик на данном уровне среза состоит из маловыраженного клиновидного пучка и тонкого пучка. Площадь тонкого пучка составила  $0,5 \pm 0,1 \text{ мм}^2$ , а площадь клиновидного пучка –  $0,2 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ .

Линейные морфометрические размеры поясничных сегментов на уровне  $L_3$ - $L_4$  были получены следующие: передне-задний размер –  $4,1 \pm 0,1 \text{ мм}$ , поперечный размер –  $5,4 \pm 0,2 \text{ мм}$ .

Площадь серого вещества составила  $8,3 \pm 0,6 \text{ мм}^2$ . Как и в предыдущих отделах спинного мозга серое вещество на горизонтальных срезах делится на передние и задние рога (рис. 2). Ширина передних рогов больше, чем ширина задних рогов, что в цифровом значении составило соответственно  $1,3 \pm 0,3 \text{ мм}$  и  $1,1 \pm 0,2 \text{ мм}$ . В передних рогах наблюдаются медиальные и латеральные комплексы двигательных нейронов (рис. 4). При этом, морфометрические параметры нейронов, которые формируют передне- и задне-медиальные группы незначительно больше, чем нейроны передне- и задне-латеральных групп. В среднем площадь нейрона медиальной группы равна  $909,1 \pm 31,8 \text{ мкм}^2$ , размеры –  $28,0 \pm 0,8 \times 40,1 \pm 1,2 \text{ мкм}$ . Ядра располагаются ближе к аксональному холмику, окружены большим количеством цитоплазмы, и имеют относительно большие размеры –  $13,9 \pm 0,5 \times 17,2 \pm 0,7 \text{ мкм}$ . Площадь ядра составила  $180,4 \pm 8,3 \text{ мкм}^2$ . Цитоплазма содержит большое количество гранулярного эндоплазматического ретикулаума (рис. 4) и составляет 80,0% от всей площади нейрона.

Средняя площадь нейрона, входящего в состав латеральных нейронных комплексов равна  $835,8 \pm 41,8 \text{ мкм}^2$ , размеры его –  $26,1 \pm 0,4 \times 34,5 \pm 0,5 \text{ мкм}$ . Принцип расположения ядер аналогичный, как и у нейронов медиальной группы. Следует также заметить, что средняя площадь ядер одинаковая. Цитоплазма нейрона латерального комплекса составляет 78,0% всей площади.

Стенка центрального канала состоит из эпендимного слоя, площадью  $0,02 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ . Толщина эпендимного слоя уменьшается в дорсальном направлении. Толщина

в пределах передней серой спайки –  $39,6 \pm 1,7$  мкм, в боковой части –  $23,7 \pm 1,3$  мкм и в пределах задней серой спайки –  $20,3 \pm 0,8$  мкм. НСК эпэндимного слоя имеют продолговатую форму, выйдя в мантийный слой приобретают круглую или овальную форму. В среднем площадь одной НСК эпэндимного слоя равна  $30,7 \pm 0,6$  мкм<sup>2</sup>, размеры ее составили  $3,5 \pm 0,4 \times 9,3 \pm 0,2$  мкм. Толщина базальной мембраны –  $3,8 \pm 0,3$  мкм.

Центральный канал имеет форму “капли”, расширенный конец которой направлен вентрально (рис. 2). Площадь центрального канала –  $0,02 \pm 0,005$  мм<sup>2</sup>. Линейные размеры центрального канала: передне-задний размер –  $190,4 \pm 8,4$  мкм, поперечный размер –  $93,3 \pm 2,4$  мкм. Центральный канал делит перегородку между двумя половинами серого вещества сегмента на переднюю и заднюю серые спайки. Толщина передней и задней серой спайки соответственно равна  $123,0 \pm 4,7$  мкм и  $69,4 \pm 2,9$  мкм.

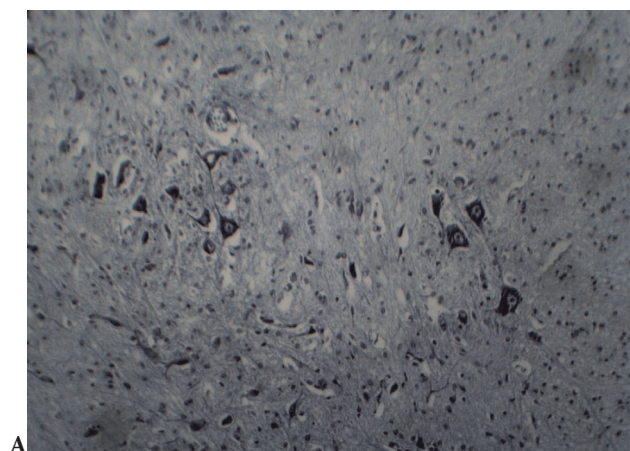
Площадь белого вещества поясничных сегментов на уровне L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub> равна  $9,2 \pm 0,3$  мм<sup>2</sup>. Благодаря передней срединной щели и бороздам спинного мозга белое вещество гистологически делится на передний, боковой и задний канатики. Площадь передних канатиков равна  $1,3 \pm 0,2$

мм<sup>2</sup>, площадь бокового канатика равна  $1,8 \pm 0,3$  мм<sup>2</sup>. Задний канатик представлен тонким пучком, площадь которого на данном уровне среза составила  $0,7 \pm 0,1$  мм<sup>2</sup>.

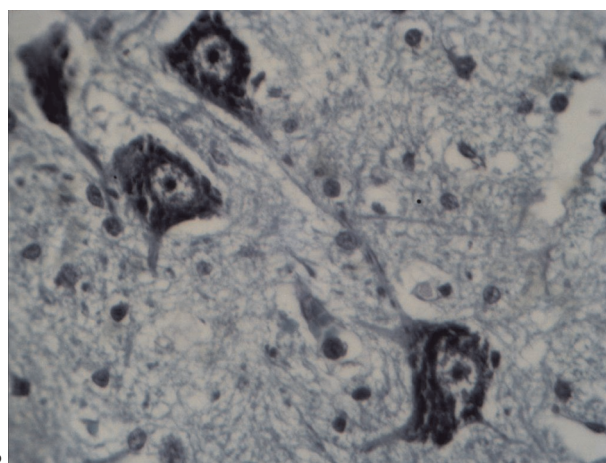
Крестцовые сегменты на уровне S<sub>2</sub>-S<sub>3</sub> имеют следующие линейные морфометрические параметры: передне-задний –  $2,5 \pm 0,1$  мм и поперечный –  $3,4 \pm 0,2$  мм.

Серое вещество представлено передними и задними рогами (рис. 2). Ширина передних рогов незначительно превышает ширину задних рогов, что соответственно равно  $933,0 \pm 45,7$  мкм и  $727,2 \pm 32,7$  мкм. В верхних крестцовых сегментах сформированы боковые рога, содержащие мелкие вегетативные нейроны (рис. 4). Средняя площадь одного такого нейрона равна  $297,4 \pm 12,2$  мкм<sup>2</sup>, а размеры составили  $13,6 \pm 0,4 \times 29,2 \pm 0,9$  мкм. Ядра в вегетативных нейронах располагаются несколько дальше от аксонального холмика, цитоплазма содержит большое количество хроматина. Площадь ядра равна  $91,5 \pm 3,1$  мкм<sup>2</sup>, размеры –  $7,6 \pm 0,5 \times 13,1 \pm 0,4$  мкм. Цитоплазма составляет 69,0% от всей площади тела клетки.

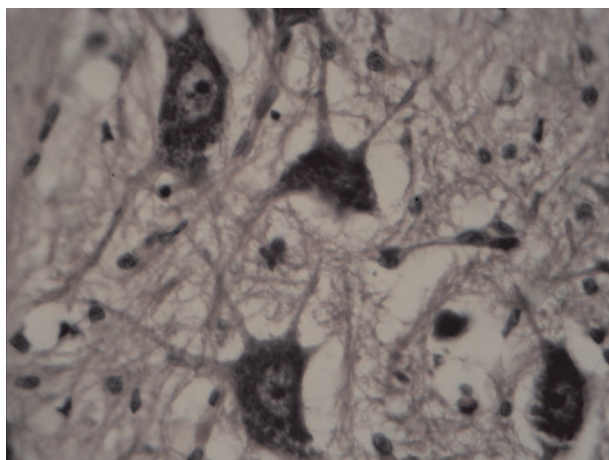
В передних рогах отмечаются скопления нейронов, которые формируют медиальные и латеральные комплексы (рис. 4). Тела нейронов этих комплексов и их ядра имеют фактически одинаковые размеры –  $26,5 \pm 0,9 \times 48,8 \pm 2,0$



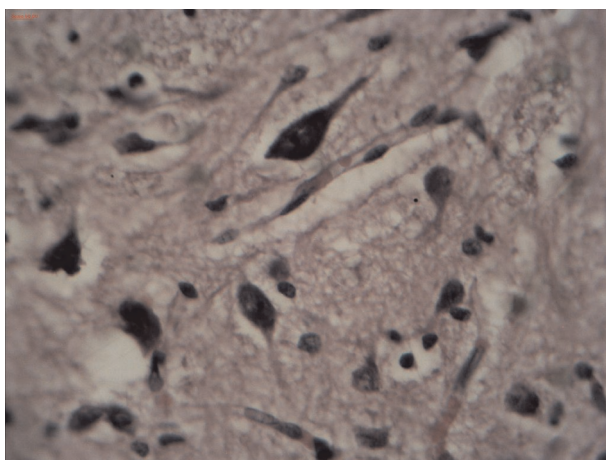
А



Б



В



Г

Рис. 4. А - латеральная и медиальная группа двигательных нейронов поясничных сегментов. Окр.-толуидиновый голубой. Ув.  $\times 10$ . Б - нейроны передне-медиального ядра поясничных сегментов. Окр.-толуидиновый голубой. Ув.  $\times 40$ . В - передне-латеральная группа двигательных нейронов крестцовых сегментов. Окр.-гематоксилин-эозин. Ув.  $\times 40$ . Г - вегетативные нейроны парасимпатического крестцового ядра. Окр.-гематоксилин-эозин. Ув.  $\times 40$ .

мкм и  $12,5 \pm 0,3 \times 20,0 \pm 0,7$  мкм соответственно. Площадь тела нейрона составила  $1205,3 \pm 60,6$  мкм<sup>2</sup>, а площадь ядра –  $249,6 \pm 8,5$  мкм<sup>2</sup>. Ядра, как правило, занимают центральное положение и окружены большим количеством цитоплазмы, содержащей субстанцию Ниссля. Цитоплазма составляет 80,0% от всей площади.

Общая площадь серого вещества равна  $4,3 \pm 0,2$  мм<sup>2</sup>. В структуру серого вещества также входит и эпендимный слой, площадь которого составила  $0,01 \pm 0,005$  мм<sup>2</sup>. Толщина эпендимного слоя в вентральной части –  $30,7 \pm 1,1$  мкм, в боковой части –  $22,5 \pm 0,9$  мкм и в дорсальной –  $18,7 \pm 0,8$  мкм. Сам эпендимный слой состоит из НСК веретеновидной формы, средняя площадь такой клетки равна  $26,8 \pm 1,1$  мкм<sup>2</sup>, размеры –  $2,9 \pm 0,3 \times 8,7 \pm 0,4$  мкм.

Площадь центрального канала –  $0,01 \pm 0,005$  мм<sup>2</sup>. Линейные размеры центрального канала: передне-задний размер –  $355,6 \pm 15,7$  мкм, поперечный размер –  $255,0 \pm 9,9$  мкм. Сам центральный канал имеет форму “капли”, расширенный конец которой направлен вентрально (рис. 2). В полости центрального канала наблюдается скопление НСК.

Площадь белого вещества равна  $3,5 \pm 0,3$  мм<sup>2</sup>. Площадь переднего канатика составила  $0,5 \pm 0,1$  мм<sup>2</sup>, площадь бокового канатика –  $0,6 \pm 0,01$  мм<sup>2</sup>. Задний канатик представлен тонким пучком, площадь которого на данном уровне среза составила  $0,4 \pm 0,005$  мм<sup>2</sup>.

### Обсуждение

Результаты проведенного исследования показали, что линейные морфометрические параметры спинного мозга плодов человека 35-36 недель внутриутробного развития наибольшие в шейных сегментах на уровне  $C_6-C_7$ , что соответствует шейному утолщению. Поясничные сегменты на уровне  $L_3-L_4$  (соответствует пояснично-крестцовому утолщению) имеют несколько меньшие размеры. Но они, в свою очередь, больше чем грудные сегменты на уровне  $Th_7-Th_8$  – этот уровень соответствует минимальному диаметру всей грудной части спинного мозга. Меньшие линейные морфометрические параметры из вышеуказанных имеют крестцовые сегменты на уровне  $S_2-S_3$ .

Гистологическое строение сегментов спинного мозга плодов человека 35-36 недель внутриутробного развития характеризуется четким делением его структур на серое и белое вещество. По данным Бурдей Г. Д. [1984] у плодов до 32-36 недель четкого подразделения спинного мозга на белое и серое вещество нет, как у взрослого, и поэтому на горизонтальных срезах спинной мозг имеет сплошь почти белую окраску [1]. В подтверждение наших исследований Егорова В. А. [1974] свидетельствует, что плоды человека 8-9 недель уже имеют четко выраженную дифференциацию на серое и белое вещество [4].

Кроме того, присутствует выраженная дифференциация серого вещества, при горизонтальных сечениях, на передние и задние рога во всех сегментах спинного мозга. При этом передние рога относительно шире, чем задние. В верхних грудных и в верхних крестцовых сегментах очерчиваются боковые рога. В целом следует отме-

тить, что площадь серого вещества имеет относительно меньшие размеры, чем площадь белого вещества на протяжении всего спинного мозга. Исследованиями Сутуловой Н. С. [1974] доказано, что начиная с 28-ой недели, площадь серого вещества уменьшается, а площадь белого вещества увеличивается [12].

Как известно эпендимный (матричный) слой образует стенки центрального канала и дает начало НСК, а из НСК развиваются в последующем нейроны и клетки глии, которые мигрируют вдоль волокон радиальной глии (радиальная или тангенциальная миграция) заселяя мантийный слой, где и происходит их дальнейшая дифференциация [8]. Нами установлено, что в шейных и поясничных сегментах площадь эпендимного слоя в два раза больше, чем в грудном и крестцовом. Толщина же эпендимного слоя уменьшается в дорсальном направлении. Сам эпендимный слой состоит из веретеновидных клеток, размер которых относительно одинаковый во всех сегментах спинного мозга. После митотического деления такие клетки мигрируют в мантийный слой и приобретают круглую или овальную форму, занимая свое топографо-гистологическое место в определенных рогах спинного мозга. Следует заметить, что в сером веществе (мантийный слой) митотическому делению подвергаются только глиобласты, а нейробласты продолжают дифференцироваться.

В шейных сегментах на уровне  $C_6-C_7$  в передних рогах спинного мозга плодов человека 35-36 недель внутриутробного развития располагаются передне-медиальная, передне-латеральная и задне-латеральная группа клеток, которые представлены крупными двигательными нейронами на различных стадиях дифференцировки. В то же время, К. В. Шулейкина [1959] в своих работах указывает, что к 32 неделям, уровень развития клеток изученных центров приближается к уровню зрелого нейрона [11]. На наш взгляд, наиболее дифференцированные нейроны имеют большие размеры, большее количество цитоплазмы и гранулярного эндоплазматического ретикула (субстанции Ниссля), а также развитые, но не миелинизированные отростки.

В грудных сегментах на всем протяжении в передних рогах располагаются медиальные группы нейронов. В верхних грудных сегментах отчетливо выражены боковые рога, где располагается промежуточно-боковое ядро, состоящее из самых мелких нейронов, ядра которых располагаются несколько дальше от аксонального холмика и содержат меньшее количество цитоплазмы. К периоду 32-35 недельного возраста плода боковые рога представлены в основном дифференцированными молодыми, а также созревающими и зрелыми нейронами промежуточно-бокового ядра [4]. В отличие от промежуточно-латеральной группы нейроны, составляющие промежуточно-медиальное ядро имеют относительно большие размеры, ядра овальной формы, располагающиеся ближе к аксональному холмику и содержащие большее количество цитоплазмы. В сегментах, где боковые рога не выражены, промежуточно-медиальное

ядро располагается в центральном промежуточном веществе. В нижних грудных сегментах в основании задних рогов четко выражено грудное ядро, состоящее из клеток преимущественно округлой формы. По данным М. Carpenter [1991] грудное ядро в таком возрастном периоде формируют до 10 нейронов различной степени дифференциации [3].

В передних рогах поясничных сегментов располагаются медиальные и латеральные комплексы двигательных нейронов. При этом нейроны, которые формируют передне- и задне-медиальные группы незначительно больших размеров, чем нейроны передне- и задне-латеральных групп. Ядра нейронов располагаются ближе к аксональному холмику и окружены большим количеством цитоплазмы, с содержанием большого количества гранулярного эндоплазматического ретикулума.

В верхних крестцовых сегментах сформированы боковые рога, содержащие мелкие вегетативные нейроны, которые образуют крестцовое парасимпатическое ядро. Ядра, как и в нейронах, входящих в состав промежуточно-латерального ядра, располагаются несколько дальше от аксонального холмика. Цитоплазма в вегетативных нейронах содержится относительно меньше, чем в двигательных и ассоциативных. В передних рогах отмечаются скопления нейронов, которые формируют передне-медиальные и латеральные комплексы. Следует отметить, что двигательные нейроны в крестцовых сегментах по сравнению с другими отделами спинного мозга имеют относительно большие размеры. Ядра наиболее дифференцированных нейронов занимают центральное положение.

Некоторыми авторами были описаны у новорожденных в крестцовых сегментах скопления нейронов, формирующие дорсо-медиальные ядра с обеих сторон в границах переднего рога, которые сливаются вместе по срединной линии, вентрально к центральному каналу [5]. Цанг Ю-чуан [1961] такой комплекс нейронов называл комиссуральным ядром [2]. Во время исследования нами такого формообразования дорсо-медиальных ядер не выявлено.

### Выводы

1. Наибольшие линейные морфометрические параметры имеют шейные сегменты на уровне  $C_6-C_7$  – уровень шейного утолщения. Несколько меньшие размеры имеют поясничные сегменты на уровне  $L_3-L_4$  – уровень пояснично-крестцового утолщения, но они больше, чем грудные сегменты на уровне  $Th_7-Th_8$  – этот уровень соответствует минимальному диаметру всей грудной части спинного мозга, и наименьшие линейные морфометрические параметры имеют крестцовые сегменты на уровне  $S_2-S_3$ .

2. Площадь белого вещества преобладает над площадью серого вещества во всех сегментах, кроме крестцовых. Серое вещество четко дифференцировано на передние и задние рога. В верхних грудных и верхних крестцовых сегментах выражены боковые рога. Наибольшие морфометрические параметры имеют двигательные нейроны, они также наиболее дифференцированные, средние – ассоциативные и наименьшие размеры имеют вегетативные нейроны, они же и менее дифференцированные.

3. Площадь эпендимного (матричного) слоя большая в шейных и поясничных сегментах, что составило по  $0,02 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ , меньшая – в грудных и крестцовых – по  $0,01 \pm 0,005 \text{ мм}^2$ . На горизонтальных срезах во всех сегментах толщина эпендимного слоя уменьшается в дорсальном направлении. НСК, составляющие эпендимный слой, на всем протяжении спинного мозга имеют сравнительно одинаковые морфометрические параметры, несколько меньшие – НСК эпендимного слоя крестцовых сегментов.

### References

- Burdey GD. Spinoz mozg [The spinal cord]. Saratov, 1984;236.
- Cang U-chuan. O komissuralnom yadre v kreststovom otdele spinnogo mozga cheloveka [About commissural nucleus in the sacral spinal cord of human]. *Archiv anatomii, gistologii i embriologii [Archives of Anatomy, Histology and Embryology]*. 1961;10:41-44.
- Carpenter M. Core text of Neuroanatomy. Baltimore, Maryland: Williams & Wilkins, 1991;70.
- Egorova VA. Kolichestvennaya otsenka osnovnykh priznakov, opredelyayushchikh stanovleniye serogo veshchestva bokovykh rogov spinnogo mozga cheloveka v prenatalnom ontogeneze [Quantitative evaluation of the main features that define the formation of lateral horns of the gray matter of the spinal cord in human prenatal ontogenesis]. *Morfogenez i sreda [Morphogenesis and the environment]*. Dnepropetrovsk, 1974;14.
- Gruener G. Clinical Neuroanatomy and Neuroscience. Philadelphia: Saunders, 2006;283.
- Kenneth S. Anatomy & Physiology The Unity of form and Function. New York: McGraw Hill, 2011;514.
- Kotova NV, Maychuk VO. Molekulyarno-genetychny osnovy etiopatogenezu ta profilaktiki vrodnykh defectiv nevrainoi trubki [Molecular and genetic basis etiopathogenesis and prevention of neural tube birth defects]. *Integrativna antropologia [Integrative anthropology]*. 2012;2: 44-50.
- Nadarajah B, Brunstorm J, Grutzendler J, et al. Two modes of radial migration in early development of the cerebral cortex. *Nat. Neuroscience*. 2001;4:143-150.
- Nicolls D, Martin A, Vallas B, et al. Ot neyrona k mozgu [From neuron to brain]. M.: Editorial URSS, 2003;672.
- Pivchenko PG. Ekivalentnost organizatsii serogo veshchestva spinnogo mozga u cheloveka i laboratornykh zhyvotnykh [Equivalence organizing the gray matter of the spinal cord in humans and laboratory animals]. *Novosti sportivnoy i meditsinskoj antropologii [News sports medical anthropology]*. 1991;3:117-118.
- Shuleykina KV. Sravnitel'naya kharakteristika razvitiya dvigatelnykh tsentrov v sheynykh segmentakh spinnogo mozga cheloveka [Comparative characteristics of the development of motor centers in the cervical segments of the human spinal cord]. *Arkhir anatomii, gistologii i embriologii [Archives of Anatomy, Histology and Embryology]*, 1959;5:42-54.
- Sutulova NS. Materialy po razvitiyu neyronov perednego roga spinnogo mozga cheloveka [Materials on the development of neurons of the anterior horn of the human spinal cord]. *Embriogenez organov cheloveka [Embryogenesis in human organs]*. Volgograd, 1974;115-117.