Анатомия шейного отдела позвоночного столба и спинного мозга человека в 20–22 недели внутриутробного развития

А. Ю. Исенгулова*, В. А. Галиакбарова, Т. С. Серединова,
Д. Н. Лященко, Э. Н. Галеева

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России,
Оренбург, Россия

Ранняя и своевременная диагностика аномалий позвоночного столба, спинного мозга, их внутриутробная и постнатальная коррекция требуют детальных знаний анатомии и топографии шейного отдела позвоночного столба у плода. Сложные взаимодействия шейного отдела позвоночного столба с соответствующими отделами спинного мозга и прилежащими структурами требуют детального изучения в течение эмбрионального периода онтогенеза.

Целью исследования явилось изучение морфометрических и топографоанатомических фетальных особенностей шейного отдела позвоночного столба и прилежащих структур на сроке 20–22 недели внутриутробного развития.

Материал и методы. Данное исследование выполнялось на секционном материале плодов человека 20–22 недель развития (20 плодов человека обоего пола), полученных из фетальной коллекции кафедры анатомии человека ОрГМУ. В работе использован стандартный комплекс морфологических методов – макромикроскопическое препарирование, метод распилов в трех взаимно перпендикулярных плоскостях по Н.И. Пирогову, изготовление серийных гистотопограмм с окраской по Ван Гизону, фотографирование, морфометрия.

Результаты. Установлено что в изучаемые сроки пренатального онтогенеза длина шейного отдела позвоночного столба в среднем составляет 17.5 ± 1.5 мм. Поперечный размер тела позвонков у плодов 20–22 недель развития на всем протяжении шейного отдела позвоночного столба имеет большие значения, чем переднезадний. Поперечный и переднезадний размеры позвоночного отверстия постепенно уменьшаются в краниокаудальном направлении. Также показано, что для получения достоверных размерных характеристик спинного мозга необходимо удаление твердой мозговой оболочки.

Заключение. Таким образом, полученные данные об анатомии и топографии позвоночного столба, а также спинного мозга в период с 20-й по 22-ю недели онтогенеза человека могут служить морфологической основой фетальной хирургии.

Ключевые слова: анатомия, шейные позвонки, спинной мозг, плод человека.

Anatomy of the Human Cervical Spine and Spinal Cord at 20–22 Weeks of Intrauterine Development

© A.Yu. Isengulova*, V.A. Galiakbarova, T.S. Seredinova, D.N. Lyashchenko, E.N. Galeeva, 2021
Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

Early and timely diagnosis of the spinal column and spinal cord pathologies, their intrauterine and postnatal correction require detailed knowledge of the anatomy and topography of the cervical spine in the fetus. The complex interactions of the cervical spine with the corresponding parts of the spinal cord and adjacent structures require detailed study during the embryonic period of ontogenesis.

The aim of the study was to investigate the morphometric and topographic anatomical fetal features of the cervical spine and adjacent structures at 20–22 weeks of the intrauterine development.

Material and methods. This study was performed on the sectional material from human fetuses, 20–22 weeks of development (20 human fetuses of both sexes), obtained from the fetal collection of the Department of Human Anatomy, Orenburg State Medical University. A standard set of morphological methods were applied in the study – macromicroscopic preparation, Pirogov method of cuts in three mutually perpendicular planes, production of serial histotopograms with Van Gieson staining, photography, morphometry.

Results. It was found that during the studied periods of prenatal ontogenesis, the length of the cervical spine averaged 17.5 ± 1.5 mm. The transverse size of the vertebral body in fetuses of 20–22 weeks of development throughout the cervical spine is of greater importance than the anteroposterior. The transverse and anteroposterior dimensions of the vertebral foramen gradually decrease in the craniocaudal direction. It was also demonstrated that it is necessary to remove the dura mater in order to obtain reliable dimensional characteristics of the spinal cord.

Conclusion. Thus, the data obtained on the anatomy and topography of the spinal column and the spinal cord at the 20th – 22nd weeks of the human ontogenesis can serve as the morphological basis of fetal surgery.

Key words: anatomy, cervical vertebrae, spinal cord, human fetus.

***Автор для переписки:**

Исенгулова Анастасия Юрьевна
Оренбургский государственный медицинский университет,
ул. Советская, 6, Оренбург, 460000, Российская Федерация

***Corresponding author:**

Anastasiya Isengulova
Orenburg State Medical University, ul. Sovetskaya, 6,
Orenburg, 460000, Russian Federation
E-mail: a.isengulova@mail.ru

Введение

Формирование структур позвоночного столба, а также становление опорно-двигательного аппарата в целом занимает долгий и сложный процесс в пренатальном периоде онтогенеза человека [2, 14]. Степень роста и развития плода вызывает особый интерес у клиницистов и морфологов в определенный срок гестационного периода.

Врожденные аномалии развития шейных позвонков могут приводить к существенным нарушениям функций опорно-двигательного аппарата, которые оказывают негативное воздействие на центральную нервную систему при поражении спинного мозга и его оболочек [1, 4, 7, 16]. Особенности анатомии спинного мозга и его оболочек достаточно подробно описаны А.А. Родионовым с соавт. [8, 9]. Отмечено, что исследования, касающиеся анатомии спинного мозга и структур позвоночного столба человека в плодном периоде, немногочисленны [11]. В основном, проведенные работы затрагивают эмбриональный и постнатальный этапы развития [3, 5, 6, 12, 14, 15]. Это связано с особенностями исследования данного материала с точки зрения правовых и этических норм, а также с религиозными и законодательными ограничениями во многих государствах. Промежуточный плодный период онтогенеза очень важен для специалистов, работа которых связана с диагностикой и коррекцией развивающегося плода. В данный период развития проводится промежуточное ультразвуковое скрининговое исследование плода, также этот период более благоприятен для коррекции врожденных пороков развития [13, 10, 17].

Целью настоящего исследования явилось изучение морфометрических и топографоанатомических фетальных особенностей шейного отдела позвоночного столба и прилежащих структур на сроке 20–22 недели внутриутробного развития.

Материал и методы исследования

Исследование выполнялось на секционном материале плодов человека 20–22 недель развития (20 плодов человека обоего пола) без пороков развития опорно-двигательного аппарата и центральной нервной системы, полученных из фетальной коллекции кафедры анатомии человека ОрГМУ.

Указанный возрастной диапазон находится в рамках второго триместра беременности и промежуточного плодного периода. В работе использовался стандартный комплекс морфологических методов – макромикроскопическое препарирование, метод распилов в трех взаимно перпендикулярных плоскостях по Н.И. Пирогову, изготовление серийных гистотопограмм с окраской по Ван Гизону, фотографирование, морфометрия. Измерения при этом проводились электронным штангенциркулем (ГОСТ 166-89, модель 660-116, ШЦЦ Ермак - 1-150-0,01) с точностью до 0.1 мм. Изготовленные по Н.И. Пирогову срезы и гистотопограммы изучали с использованием панкратического стереоскопического микроскопа МПС – 2 с видеосистемой (при 2, 4, 8 и 12-кратных увеличениях). Также для получения некоторых количественных морфометрических параметров в ходе работы использовалась программа Scale (лицензионная версия), которая позволяет проводить измерения на цифровых фотографиях препаратов в электронном виде.

Количественные данные, полученные в результате исследования, анализировали с применением параметрических методов. Вычисляли среднюю величину ($\bar{X}$), стандартную ошибку средней величины (S_x), среднеквадратическое отклонение (σ), минимальное ($\min$) и максимальное ($\max$) значения. Вариационно-статистическая обработка проводилась при помощи программ «Microsoft Excel» и «Statistica 10».

На проведение исследования получено разрешение ЛЭК ФГБОУ ВО ОрГМУ Минздрава России № 207 от 24.09.2018). Указанный возрастной диапазон находится в рамках второго триместра беременности и промежуточного плодного периода (Приказ Минздрава РФ от 1.11.2012 г. N 572н).

Результаты и их обсуждение

Результаты выполненного исследования показали, что у плода в 20–22 недели развития отчетливо определялся весь шейный отдел позвоночного столба с соответствующими ему структурами (рис. 1).

Шейный отдел позвоночного столба состоял из семи позвонков. Длина шейного отдела позвоночного столба у плодов изучаемого периода (между передним бугорком СI и нижним краем тела CVII) в среднем составляла 17.5 ± 1.5 мм. Определялись атлантозатылочные и атлантоосевые соединения, а также межпозвоночные диски.

Мышечки затылочной кости у плодов 20–22 недель развития имели овальную форму, суженную в задних отделах. Суставные поверхности покрыты гиалиновым хрящом, гладкие и блестящие. Среднее значение переднезаднего размера мышечков составляло

Рис. 1. Торс плода человека, вид сзади. Фото макропрепарата, протокол №153, гестационный возраст 22 недели, пол мужской. Обозначения: 1 – первый шейный позвонок (атлант), 2 – второй шейный позвонок (осевой), 3 – седьмой шейный позвонок, 4 – первый грудной позвонок, 5 – остистый отросток, 6 – реберно-поперечный сустав.

Рис. 2. C_2 , атлант, вид сверху. Фото макропрепарата, протокол №153, гестационный возраст 22 недели, пол мужской. Обозначения: 1 – передняя дуга, 2 – задняя дуга, 3 – поперечный отросток, 4 – отверстие поперечного отростка, 5 – верхняя суставная ямка, 6 – латеральные массы, 7 – ямка зуба, 8 – позвоночное отверстие.

8.72 ± 0.01 мм, поперечного размера мыщелков – 3.85 ± 0.05 мм.

Верхние и нижние суставные поверхности 1-го шейного позвонка (C_1) овальной формы, расположены относительно друг друга под углом, открытым кзади. Средние значения продольного размера верхних суставных поверхностей в рассмотренном периоде онто-

Рис. 3. Задний отдел наружного основания черепа плода, вид снизу. Фото макропрепарата, протокол №2, 22 недели, пол мужской. Обозначения: 1 – большое затылочное отверстие, 2 – мыщелки затылочной кости (правый и левый), 3 – отверстие мыщелкового канала, 4 – сосцевидное отверстие, 5 – наружный затылочный выступ.

генеза составляли 0.9 ± 1.23 мм, поперечного – 0.5 ± 0.69 мм. Размеры нижних суставных поверхностей были меньше и составляли 0.75 ± 1.27 мм и 0.4 ± 1.07 мм соответственно. На передней дуге атланта определялась ямка зуба. Кпереди от верхних суставных ямок явно выражена борозда позвоночной артерии. Передний и задний бугорки слабо выражены. Сагиттальный размер позвонка (от переднего до заднего бугорка) в среднем был равен 1.55 ± 0.73 мм, среднее значение показателя фронтального размера (между поперечными отростками) составляло 2.4 ± 0.96 мм. Позвоночное отверстие атланта у плодов 20–22 недель развития неправильной формы за счет выраженных латеральных масс (рис. 2).

В данном возрастном периоде размеры большого затылочного отверстия (БЗО) незначительно превосходили размеры позвоночного отверстия атланта. Среднее значение переднезаднего размера БЗО составляло 13.99 ± 0.17 мм, поперечного размера – 11.63 ± 0.07 мм. БЗО имело каплевидную форму, зауженную в задних отделах, расширенную в передних (рис. 3).

У 2-го шейного позвонка (C_2) плодов на данном сроке онтогенеза отчетливо визуализировалось тело позвонка с зубом, на котором определялась суставная поверхность овальной формы. Наблюдался слабо выраженный, практически не раздвоенный остистый отросток (рис. 4).

Типичные ($C_{III}-C_{VI}$) шейные позвонки имели характерные фетальные возрастные особенности. Тело позвонка имело овальную уплощенную форму. При проведении морфометрии тел шейных позвонков была установлена динамика роста данных параметров у плодов 20–22 недель развития. При измерении переднезаднего и поперечного размеров тел позвонков было выявлено, что на всем

Рис. 4. Сп, осевой позвонок у плода 22 недель развития. Фото макропрепарата, протокол №153, пол мужской. Обозначения: А – вид сверху; 1 – дуга позвонка, 2 – позвоночное отверстие, 3 – поперечный отросток, 4 – отверстие поперечного отростка, 5 – верхняя суставная поверхность, 6 – зуб. Б – вид спереди; 1 – тело позвонка, 2 – поперечный отросток, 3 – верхушка зуба, 4 – передняя суставная поверхность, 5 – верхняя суставная поверхность.

Таблица 1

Размеры тела позвонка и позвоночного отверстия в шейном отделе позвоночного столба в 20–22 недели внутриутробного развития ($X \pm S_x$, мм)

Позво- нок	Тело позвонка		Позвоночное отверстие	
	Переднезадний размер	Поперечный размер	Переднезадний размер	Поперечный размер
C _I	–	–	10.01±1.23	10.10±1.45
C _{II}	4.61±1.48	9.06±1.02	7.31±0.94	8.70±1.35
C _{III}	4.93±1.32	7.75±1.54	6.04±1.13	8.80±1.23
C _{IV}	5.35±1.06	7.44±1.59	5.64±1.24	8.97±1.06
C _V	5.62±1.12	7.21±1.21	5.37±1.68	9.1±1.09
C _{VI}	6.12±1.23	7.10±1.60	5.19±1.38	9.25±1.31
C _{VII}	6.18±1.09	6.93±1.59	9.25±1.31	9.46±1.80

Рис. 5. Шейный отдел позвоночного столба, вид сбоку. Фото макропрепарата, протокол №172, гестационный возраст 21 неделя, пол мужской. Обозначения: 1 – затылочная кость, 2 – левая лопатка, 3 – реберно-поперечный сустав ThIII.

протяжении шейного отдела позвоночного столба поперечный размер имел большее значение, чем переднезадний. Позвоночное отверстие имело треугольную форму, размер которого постепенно уменьшался в кранио-каудальном направлении, что видно из данных табл. 1.

Поперечные отростки шейных позвонков в 20–22 недели развития содержали отверстия для прохождения позвоночных артерий. У плодов диаметр отверстий в среднем

изменялся от 0.9 ± 0.07 мм до 1.4 ± 0.09 мм. Одной из фетальных особенностей анатомии шейных позвонков является выявленная в данном исследовании одинаковая длина остистых отростков CVII и ThI (рис. 5).

В исследуемом периоде онтогенеза в теле каждого шейного позвонка определялась одна точка окостенения, кроме того, две точки располагались в дуге позвонка. В дугах, ножках и телах шейных позвонков на срезах и гистотопограммах выявлялись участки костной и хрящевой тканей.

Полноценная картина морфологии шейного отдела позвоночного столба у плодов 20–22 недель развития неотъемлемо связана с анатомией и топографией спинного мозга плода. В изучаемом периоде онтогенеза плода человека спинной мозг в шейном отделе представлял собой сформированную структуру (рис. 6). В нем насчитывалось 8 шейных сегментов (C_I–C₈), которые соответствовали телам позвонков C_I–C_{VII}. Длина шейного отдела спинного мозга в 20–22 недели онтогенеза в среднем составляла 17.3 ± 0.23 мм. Удалось определить параметры шейного утолщения, которое у плода соответствовало уровню C_{II}–ThI тел позвонков. Длина данного

Рис. 6. Шейный отдел спинного мозга плода. Фото макропрепарата, протокол №160, гестационный возраст 21 неделя, пол женский. Обозначения: А – в твердой мозговой оболочке, Б – со вскрытой твердой мозговой оболочкой; 1 – спинной мозг, 2 – твердая мозговая оболочка, 3 – передний корешок, 4 – спинальный ганглий, 5 – головка ребра, 6 – межреберный нерв, 7 – задний корешок C_1 .

утолщения у плодов в среднем составляла 15.3 ± 0.12 мм. Установлено, что максимальный размер шейного утолщения на соответствовал уровню C_{VI} и составлял 3.39 ± 0.23 мм. При этом ширина твердой мозговой оболочки (ТМО) спинного мозга на том же уровне составляла 6.36 ± 0.39 мм, что свидетельствовало о большом объеме субдурального пространства.

ТМО спинного мозга продолжалась на спинномозговые корешки, что визуально уменьшало их длину. Наибольшую длину до ганглия в ТМО имел корешок C_8 и составлял в среднем 1.86 ± 0.4 мм. Без ТМО длина этого же корешка составляла 4.67 ± 0.87 мм. Сопоставление данных значений свидетельствует о том, что большая часть длины спинномозговых корешков находится в субдуральном пространстве. Спинномозговые корешки у плодов 20–22 недель развития отходили от спинного мозга в шейном отделе под прямым углом и имели горизонтальный ход, в отличие от нижележащих отделов, где они отходили под острым углом и имели косо-нисходящий ход (рис. 6).

Заключение

В результате исследования получены морфометрические данные, отражающие анатомию и топографию шейных позвонков и соответствующего отдела спинного мозга на сроке 20–22 недель онтогенеза плода человека. Шейный отдел позвоночного столба состоит из семи позвонков. Длина шейного отдела позвоночного столба у плодов изучаемого периода в среднем составляет 17.5 ± 1.5 мм. В 20–22 недели промежуточного плодного периода человека позвонки имеют преимущественно хрящевую основу, в теле каждого

шейного позвонка определяется одна точка окостенения, кроме того, две точки располагаются в дуге позвонка. Одной из фетальных особенностей является не сращение ножек дуг с телом позвонков.

В изучаемом периоде онтогенеза плода человека спинной мозг в шейном отделе представляет собой сформированную структуру, состоящую из 8 шейных сегментов, которые соответствуют телам позвонков C_I – C_{VII} . Длина шейного отдела спинного мозга в 20–22 недели онтогенеза в среднем составляет 17.3 ± 0.23 мм. Определяется шейное утолщение, расположение которого у плода соответствует уровню C_{II} – Th_I тел позвонков.

Таким образом, полученные морфометрические данные расширяют представления фетальных хирургов и морфологов об анатомии плода на данных этапах пренатального развития и будут способствовать улучшению пренатальной диагностики врожденных пороков развития позвоночника и спинного мозга и их своевременной коррекции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90091

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы / References

1. Баранов Э.Ф. Российский статистический ежегодник. М.; 2017. [Baranov E.F. Rossiiskii statisticheskii ezhegodnik. Moscow; 2017] (in Russian).
2. Бобрик И.И., Минаков В.И. Атлас анатомии новорожденного. Киев: Здоровье. 1990 [Bobrik

- II, Minakov VI. Atlas anatomii novorozhdennogo. Kiev: Zdorov'e. 1990] (in Russian).
3. Виссарионов С.В. Врожденные пороки позвоночника: вопросы эмбриогенеза, формирования и развития некоторых аномалий. Научные обзоры. 2006;31–2 [Vissarionov SV. Vrozhdennye poroki pozvonochnika: voprosy embriogeneza, formirovaniya i razvitiya nekotorykh anomalii. Nauchnye obzory. 2006;31–2] (in Russian).
4. Воронов В.Г., Чмутин Г.Е. Нейрохирургическая вертебромедуллярная патология у детей и подростков. В 2-х томах. М.: РУДН, 2018;2:520 [Voronov VG, Chmutin GE. Neurokhirurgicheskaya vertebromedullarnaya patologiya u detei i podrostkov. Moscow: RUDN; 2018.2] (in Russian).
5. Кабак С.Л., Заточная В.В., Гордионук Д.М. Количественная характеристика тканей позвонков у эмбрионов и плодов человека. Клиническая и экспериментальная морфология. 2020;9(1):49–56 [Kabak SL, Zatochnaya VV, Gordionok DM. Quantitative characteristic of vertebral tissues in human embryos and fetuses. Clinical and Experimental Morphology. 2020;9(1):49–56] (in Russian).
6. Куренков Е.Л., Макарова В.В. Онтогенез межпозвонкового диска у человека. Журнал анатомии и гистопатологии. 2018;7(1):98–107 [Kurenkov EL, Makarova VV. Ontogenesis of Human Intervertebral Disc. Journal of Anatomy and Histopathology. 2018;7(1):98–107] (in Russian). doi: 10.18499/2225-7357-2018-7-1-98-107
7. Нагорнева С.В., Прохорова В.С., Шелаяева Е.В., Худовекова А.М. Анализ частоты выявления врожденных пороков развития у плодов за последние 5 лет (2013–2017). Журнал акушерства и женских болезней. 2018; 67(3): 44–8 [Nagorneva SV, Prokhorova VS, Shelaeva EV, Khudovecova AM. The prevalence of congenital fetal anomalies for the past 5 years (2013–2017). Journal of obstetrics and women's diseases. 2018;67(3):44–8] (in Russian).
8. Родионов А.А., Асфандияров Р.И. Морфогенез эпидурального пространства человека в эмбриональном и раннем плодном периодах. Оригинальные исследования. 2009;135(1):25–30 [Rodionov AA, Asfandiyarov RI. Morphogenesis of human epidural space in the embryonic and early fetal periods. Morfologiya. 2009;135(1):25–30] (in Russian).
9. Школьников В.С., Гуминский Ю.И. Особенности структуры и морфометрические параметры сегментов спинного мозга плодов человека и сиамских близнецов в сравнительном аспекте. Вестник ВГМУ. 2014;13(1):13–9 [Shkol'nikov VS, Guminskii YuI. Osobennosti struktury i morfometricheskie parametry segmentov spinного mozga plodov cheloveka i siamskikh bliznetsov v sravnitel'nom aspekte. Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta. 2014;13(1):13–9] (in Russian).
10. Adzick NS. Prospects for fetal surgery. Early Human Development. 2013 Nov;89(11):881–6. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2013.09.010
11. Arora M. Fetal Anatomy: Morphometry of Vertebral Canal and Spinal Cord of Cervical Region in Human Fetuses. Annals of International medical and Dental Research. 2016 Apr 25;(3):128–31. doi: 10.21276/aimdr.2016.2.3.32
12. Bagnall KM, Harris PF, James RM. A radiographic study of the human fetal spine. 1. The development of the secondary cervical curvature. J. Anat. 1977;123:777–82.
13. Heuer GG, Moldenhauer JS, Scott Adzick N. Prenatal surgery for myelomeningocele: review of the literature and future directions. Child's Nervous System. 2017 May 17;33(7):1149–55. doi: 10.1007/s00381-017-3440-z
14. O'Rahilly R, Muller F, Meyer DB. The human vertebral column at the end of the embryonic period proper. J. Anat. 1980;131:565–75.
15. Roth ML, Purkyne JE. Normal neurovertebral growth relation. Opusc Morphol. 1985;91:11–34.
16. Sacco A, Ushakov F, Thompson D, Peebles D, Pandya P, De Coppi P, et al. Fetal surgery for open spina bifida. The Obstetrician & Gynaecologist. 2019 Sep 27;21(4):271–82. doi: 10.1111/tog.12603
17. Vrecenak JD, Flake AW. Fetal surgical intervention: progress and perspectives. Pediatric Surgery International. 2013 Apr 4;29(5):407–17. doi: 10.1007/s00383-013-3304-x

Поступила в редакцию 10.12.2020

Принята в печать 18.02.2021

Received 10.12.2020

Accepted 18.02.2021

Для цитирования: Исенгулова А.Ю., Галиакбарова В.А., Серединова Т.С., Лященко Д.Н., Галеева Э.Н. Анатомия шейного отдела позвоночного столба и спинного мозга человека в 20–22 недели внутриутробного развития. Журнал анатомии и гистопатологии. 2021; 10(1): 15–20. doi: 10.18499/2225-7357-2021-10-1-15-20

For citation: Isengulova A.Yu., Galiakbarova V.A., Seredinova T.S., Lyashchenko D.N., Galeeva E.N. Anatomy of the Human Cervical Spine and Spinal Cord at 20–22 Weeks of Intrauterine Development. Journal of Anatomy and Histopathology. 2021; 10(1): 15–20. doi: 10.18499/2225-7357-2021-10-1-15-20