

## СЕГМЕНТАРНАЯ МОРФОЛОГИЯ ПУПОВИНЫ ДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ: ГРАНИЦЫ АНАТОМИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Клявлиная М. Ю., Нигматуллин Р. Т., Щекин В. С., Ханнанова Г. Р.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации, 450008, ул. Ленина, 3, Уфа, Россия

**Для корреспонденции:** Клявлиная Мария Юрьевна, аспирант кафедры анатомии человека, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», e-mail: gradusova.maria@mail.ru

**For correspondence:** Klyavlina Maria Yuryevna, postgraduate student of the Department of Human Anatomy, Bashkir State Medical University, e-mail: gradusova.maria@mail.ru

### Information about authors:

**Klyavlina M. Yu.**, <https://orcid.org/0009-0001-1751-7482>.

**Nigmatullin R. T.**, <https://orcid.org/0000-0002-5715-6642>.

**Shchekin V. S.**, <https://orcid.org/0000-0003-2202-7071>.

**Khannanova G. R.**, <https://orcid.org/0009-0003-1108-4350>.

### РЕЗЮМЕ

Цель исследования: определение границ нормальной анатомической изменчивости проксимального, срединного и дистального сегментов пуповины доношенных новорожденных. Материал и методы. В исследовании пуповин (n=30) использовали окраску по Маллори (Биовитрум, РФ) и Вейгерту (Биовитрум, РФ). Морфометрические параметры замерены в программе QuPath v 0.5.1. Результаты. Исследуемые пуповины содержали две артерии и вену с различным топографическим расположением сосудов по сегментам. Вена имела округлый или овальный просвет, артерии - щелевидный. Внутренняя оболочка сосудов выстлана эндотелием. В ряде препаратов в пупочной вене обнаружена эластическая мембрана, располагающаяся в субэндотелиальном слое. Мышечная оболочка вены состояла преимущественно из циркулярных волокон, артерий - из двух слоев гладкомышечных клеток. Стенки сосудов плотно связаны с вартоновым студнем, который в паравазальной зоне формирует адвентицию. В различных зонах эмбриональной слизистой соединительной ткани визуализируется зона тканевых щелей. Площадь поперечного сечения артерий, вены в трех сегментах пуповины не имеют статистически значимых отличий и в 10 раз уступает идентичному показателю вартонова студня. Достоверные отличия обнаружены в общей площади поперечного сечения пуповины в трех сегментах. Заключение. Топографическое расположение сосудов и морфометрические показатели в трех сегментах пуповины проявляют фенотипическую изменчивость в пределах физиологической нормы. В результате нашего исследования пуповин доношенных, родившихся через естественные родовые пути без признаков патологии, выведены физиологические параметры изменчивости длины, площадей поперечных сечения площадей пуповины, пупочных сосудов, эмбриональной слизистой соединительной ткани. Расхождения между наблюдаемыми значениями и нормативными показателями могут служить индикаторами патологических состояний. Данный факт может послужить основанием для проведения углубленной диагностики и усиленного мониторинга фетального состояния. Пупочный канатик – это сложная циркуляторная система, тесно интегрированная с зоной тканевых щелей плаценты. Эта зона формирует пути ультрациркуляции тканевой жидкости, где происходят ключевые процессы обмена веществ, обеспечивающие развитие плода.

**Ключевые слова:** морфология пуповины, гистотопография пупочных сосудов, вартонов студень.

### SEGMENTAL MORPHOLOGY OF THE UMBILICAL CORD OF FULL-TERM NEWBORNS: LIMITS OF ANATOMICAL VARIABILITY

Klyavlina M. Yu., Nigmatullin R. T., Shchekin V. S., Khannanova G. R.

Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

### SUMMARY

The aim of the study was to determine the boundaries of normal anatomical variability of the proximal, median, and distal umbilical cord segments in full-term newborns. Material and methods. In the study of umbilical cords (n=30), Mallory (Biovitrum, Russian Federation) and Weigert (Biovitrum, Russian Federation) staining was used. Morphometric parameters were measured using QuPath v 0.5.1 software. Results. The studied umbilical cords contained two arteries and a vein, with different topographic arrangement of vessels by segments. The vein had a round or oval lumen, the arteries had a slit-like lumen. The inner lining of the vessels is lined with endothelium. In a number of preparations, an elastic membrane located in the subendothelial layer was found in the umbilical vein. The muscular layer of the vein consisted mainly of circular fibers, and the arteries consisted of two layers of smooth muscle cells. The vessel walls are tightly connected with Wharton's jelly, which forms adventitia in the paravasal zone. In different zones of the embryonic mucous connective tissue, a zone of tissue gaps is visualized. The cross-sectional area of the arteries and veins in three segments of the umbilical cord do not have statistically significant differences and are 10 times inferior to the

identical indicator of Wharton's jelly. Reliable differences were found in the total cross-sectional area of the umbilical cord in three segments. Conclusion. The topographic location of the vessels and morphometric parameters in three segments of the umbilical cord exhibit phenotypic variability within the physiological norm. As a result of our study of the umbilical cords of newborns born through the natural birth canal without signs of pathology, physiological parameters of variability in length, cross-sectional areas of the umbilical cord, umbilical vessels, and embryonic mucous connective tissue were derived. Discrepancies between the observed values and normative indicators can serve as indicators of pathological conditions. This fact can serve as a basis for conducting in-depth diagnostics and enhanced monitoring of the fetal condition. The umbilical cord is a complex circulatory system, closely integrated with the area of tissue clefts of the placenta. This area forms the pathways of tissue fluid ultracirculation, where key metabolic processes occur, ensuring fetal development.

**Key words:** umbilical cord morphology, histotopography of umbilical vessels, Wharton's jelly.

Пуповина человека — это сосудисто-мезенхимальный орган, который обеспечивает фетоплацентарное кровообращение между плацентой и плодом [1; 2]. Ключевую роль в реализации данной функции играет сердце плода [1]. Однако его миокард не может полностью обеспечить функциональную нагрузку во время внутриутробного развития, которая включает в себя: циркуляцию крови через длинные сосудистые магистрали пуповины, перфузию крови через сеть микроциркуляторного русла плаценты. Учитывая, что пуповина обладает собственной перистальтической активностью, часть функциональной нагрузки переходит на нее [1]. Вследствие этого, как в пупочной вене, так и в артериях хорошо развиты гладкомышечные слои и эластические волокна [1]. Относительно морфологической картины в литературе имеются различные данные в отношении эластических мембран и адвентициальной оболочки пупочных сосудов [3-8]. Таким образом, данная тема представляет собой актуальную область для дальнейших исследований, обусловленную противоречиями в существующей научной парадигме и выполнением жизненно важной функции для плода.

В настоящее время особое внимание уделяется патологическим состояниям плаценты и пупочного канатика [9-12]. Ведутся исследования на тему микроанатомии пуповины при беременности в результате экстракорпорального оплодотворения [13]. Также, ряд авторов отмечает, что морфометрические показатели пуповины и плаценты считаются маркерами нарушений внутриутробного развития. Например, при увеличении длины пуповины снижается риск развития неонатальной желтухи и увеличивается риск развития внутриутробной гипоксии плода, обвития пуповины вокруг шеи плода, изменений со стороны головного мозга и неврологических отклонений в будущем. Короткая пуповина может быть причиной преждевременной отслойки плаценты [14; 15]. Однако в первую очередь необходимо понимать границы нормальной анатомической изменчивости пуповины.

Цель исследования: определение границ нормальной анатомической изменчивости проксимального, срединного и дистального сегментов пуповины доношенных новорожденных.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В ходе настоящего исследования было изготовлено 90 гистологических блоков различных топографических сегментов пуповины. Критериями включения со стороны плода в исследование послужил доношенный гестационный срок, рождение плода на семь баллов и выше по шкале Апгар через естественные родовые пути. Со стороны матери отсутствие осложнений беременности, инфекционных заболеваний и тяжелой соматической патологии. Локально этический комитет ФГБОУ ВО «Башкирского государственного медицинского университета» Минздрава России от 23.10.2024 заключил, что проводимое научное исследование соответствует общепринятым нормам морали, требованиям соблюдения прав, интересов и личного достоинства, принимающих участие в исследовании согласно «ГОСТ Р 52379-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Надлежащая клиническая практика».

Исследование проводилось на базе кафедры анатомии человека и морфологической лаборатории ФГБОУ ВО «Башкирского государственного медицинского университета» Минздрава России. Полученный биологический материал предварительно был разделен на три сегмента: проксимальный, срединный и дистальный. Затем была выполнена стандартная гистологическая обработка в изопропиловом спирте (Биовитрум, РФ), заливка в парафин «гистомикс» (Биовитрум, РФ) и приготовление срезов толщиной 4 мкм. Для выявления компонентов соединительной ткани использовали окраску по методу Маллори (Биовитрум, РФ), для выявления эластических волокон по Вейгерту (Биовитрум, РФ).

Стеклопрепараты были оцифрованы на сканирующем микроскопе panoramic 250 фирмы 3dhisttech (венгрия). Морфометрические параметры площади поперечного сечения пуповины,

пупочных сосудов и эмбриональной слизистой соединительной ткани (вартонов студень) определялись с помощью программы QuPath 0.5.1 (США) (Bankhead, P. et al. QuPath: Open source software for digital pathology image analysis. Scientific Reports (2017)).

Статистическая обработка данных выполнена в программе Statistica 10.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В нашем исследовании все пуповины по количеству сосудов имели нормальное анатомическое

строение: две артерии и вену. Топографическое расположение пупочных сосудов изменялось на трех сегментах в пределах одной пуповины. А именно - сосуды формировали треугольник с различными углами, меняли свое расположение на протяжении всей длины пуповины или располагались по прямой линии. На рисунке 1 изображены последовательные сегменты пуповины, показывающие изменения в расположении сосудов вдоль её длины.

Рисунок 2 демонстрирует различное гистотопографическое расположение сосудов пуповины

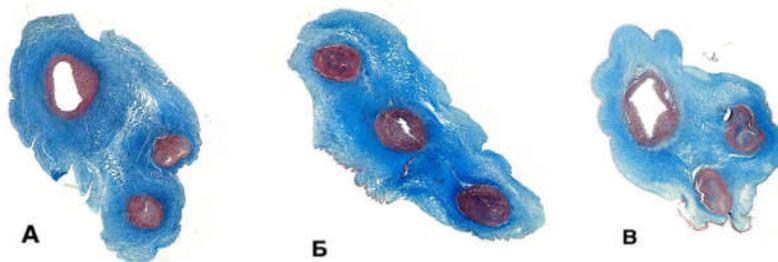


Рис. 1. Гистотопографические препараты сегментов пуповины. Окраска по Маллори x 150. А - проксимальный сегмент пуповины, Б – срединный сегмент, В – дистальный сегмент.

Fig. 1. Histotopographic preparations of umbilical cord segments. Mallory staining x 150. A - proximal umbilical cord segment, B - median segment, C - distal segment.

срединного сегмента. На рисунке 2А последовательность сверху вниз складывается следующим образом: вена, артерия, артерия. На рисунке 2 Б: артерия, вена, артерия. И в первом, и во втором случае, гистотопографическое расположение пу-

почных сосудов является вариантом нормы и отражает фенотипическую изменчивость.

Описание структуры гистотопографических препаратов: просвет вены в основном имел округлую или овальную форму. Ее внутренняя стенка

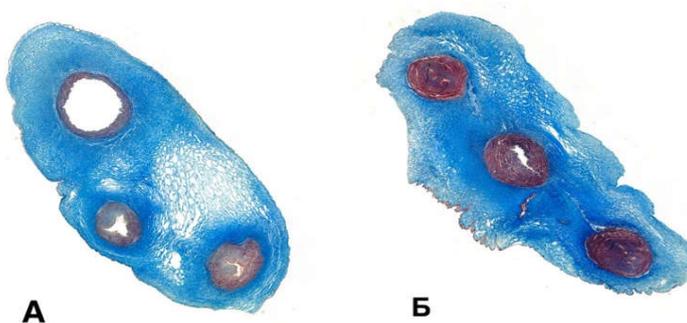
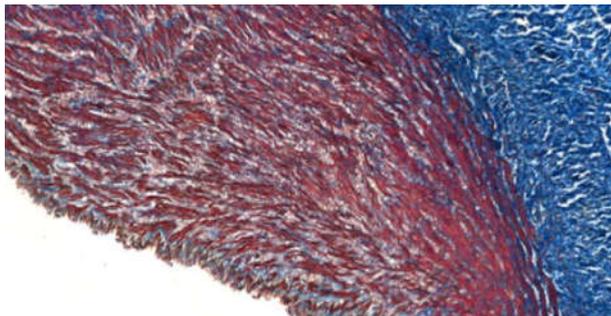


Рис.2. Различное гистотопографическое расположение сосудов пуповины в пределах одного сегмента. Окраска по Маллори x 150.

Fig. 2. Different histotopographical arrangement of umbilical cord vessels within one segment. Mallory x 150 staining.

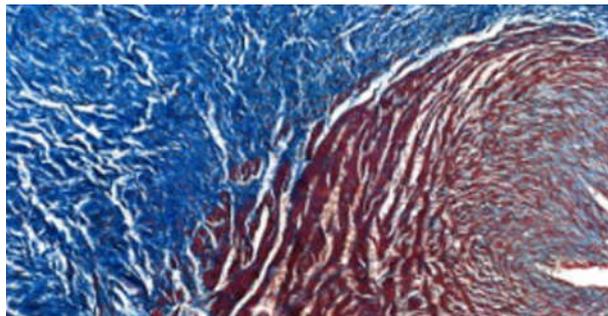
выстлана эндотелием. В большинстве случаев обнаружена эластическая мембрана, располагающаяся в субэндотелиальном слое. Отчётливо выраженная адвентиция не визуализировалась.

Мышечная оболочка пупочных вен представлена в основном волокнами, располагающимися в циркулярном направлении (рис. 3). Толщина стенки пупочной вены неравномерна, в некото-



**Рис.3.** Сосудистая стенка пупочной вены. Окраска по Маллори x 200.

**Fig. 3.** Vascular wall of the umbilical vein. Mallory stain x 200.



**Рис.4.** Сосудистая стенка пупочной артерии. Окраска по Маллори x 200.

**Fig. 4.** Vascular wall of the umbilical artery. Mallory stain x 200.

рых участках имеется более густое скопление мышечных клеток.

Внутреннюю поверхность артерий выстилает эндотелий. Просвет артерий, как правило, щелевидный, а сосудистая стенка, на фоне констрикции, имеет неравномерную толщину. Характерной чертой является наличие в просвете артерий выступов, известных в литературе как узлы Хобокена. Мышечная оболочка, составляющая основную часть сосудистой стенки, представлена гладкомышечными клетками, организованными в два слоя: внутренний, где клетки расположены более свободно, и наружный, с циркулярным расположением гладкомышечных волокон. Между мышечными клетками обнаружены единичные эластические волокна, которые не образуют непрерывную мембрану. К мышечной оболочке плотно прилегает компактный слой вартонова студня (рис.4). Его волокнистый внеклеточный матрикс циркулярно охватывает артерии. Данный слой вартонова студня выступает как адвентиция артерий. В части гистологических препаратов описываемая адвентициальная оболочка двух артерий тесно контактирует между собой и переходит в аналогичную оболочку пупочной вены (рис.2Б.). Подобное структурное взаимодействие сосудистых компонентов пупочного канатика позволяет предположить их функциональную кооперацию для обеспечения фетоплацентарного кровотока. При этом пульсационная активность артерий может передаваться на венозную стенку.

В различных зонах эмбриональной слизистой соединительной ткани визуализируется зона тканевых щелей. В 90% случаев подобные ячеистые расширения локализуются в периферической зоне. Вероятно, по ним происходит отток интерстициальной жидкости. В структуре вартонова студня отмечается градиент плотности внеклеточного матрикса от периваскулярной области к периферии. Ближе к пупочным сосудам эмбри-

ональная соединительная слизистая ткань более плотная и организованная, тогда как на периферии она более рыхлая. Также идентифицируется субамниотический слой рыхлой соединительной ткани. В целом, представленные зоны вартонова студня тканевых щелей и субамниотического слоя достаточно четко дифференцируются от паравазальной части эмбриональной соединительной слизистой ткани также называемого адвентициальной оболочкой. Структура адвентициального слоя отличается как правило циркулярной однонаправленной ориентацией коллагеновых фибрилл и их компактным расположением. В паравазальной зоне вартонова студня встречаются единичные эластические волокна.

Многочисленные лакуны в зонах тканевых щелей местами достигают наружной оболочки пуповины. В нашем исследовании их диаметр колеблется от 20 мкм до 270 мкм, наиболее часто встречаются лакуны размерами 100-150 мкм. Подобные тканевые щели в соединительной ткани принято определять термином прелимфатик (Ю. И. Бородин – 2015). По нашему мнению, зону тканевых щелей пупочного канатика можно рассматривать как структурный эквивалент путей ультрациркуляции интерстициальной жидкости.

Медиана длины пуповины составила 56,5 [44,3; 75,8] см. Морфометрические показатели проксимального, срединного и дистального сегментов пуповины представлены в таблице.

Как следует из приведенной таблицы, площадь эмбриональной соединительной слизистой ткани в 10 раз превысила сосудистый компонент. По критерию Фридмана площадь поперечного сечения артерий, вены на трех сегментах пуповины не имеют статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ ). Предполагаем, что это связано с относительно малыми размерами данных структур в нефункционирующем состоянии. Для исключения погрешности, связанной с единицами измерения, статистическая обработка также была проведена

**Таблица. Площади поперечного сечения пуповины, пупочных сосудов, эмбриональной слизистой соединительной ткани (Me [5;95])**

**Table. Cross-sectional areas of the umbilical cord, umbilical vessels, embryonic mucous connective tissue (Me [5;95])**

Параметр (ед.измерения)	Проксимальный сегмент пуповины Me [5;95]	Срединный сегмент пуповины Me [5;95]	Дистальный сегмент пуповины Me [5;95]
Площадь поперечного сечения пуповины (см <sup>2</sup> )	1, 14 [1,12; 1,37]	1, 14 [1,12; 1,25]	1, 13 [1,1; 1,19]
Площадь поперечного сечения артерий (см <sup>2</sup> )	0,03 [0,002; 0,13]	0,02 [0,001; 0,12]	0,04 [0,001; 0,1]
Площадь поперечного сечения вены (см <sup>2</sup> )	0,06 [0,02; 0,09]	0,05 [0,02; 0,07]	0,06 [0,02; 0,07]
Площадь поперечного сечения эмбриональной слизистой соединительной ткани (см <sup>2</sup> )	1,07 [0,9; 1,9]	1,06 [1,0; 1,2]	1,06 [0,9; 1,1]

со значениями в мкм<sup>2</sup>. Статистически значимые отличия по критерию Фридмана ( $p < 0,05$ ) обнаружены в площади пуповины на трех сегментах. Отмечается увеличение площади поперечного сечения в проксимальном сегменте.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время основная дискуссия в литературе по поводу морфологии пуповины заключается в наличии или отсутствии эластической мембраны и адвентиции. Ряд авторов описывает в составе сосудистой стенки пупочной вены эластическую мембрану, которая располагается непосредственно под эндотелием [3; 8]. Говорка Э. (1970) в своей монографии указывал локализацию эластической мембраны в артериях пуповины между внутренним и наружным мышечными слоями, а в пупочной вене непосредственно под эндотелием. Данное строение он описывал как единственную и очень важную отличительную особенность между артериями и венами пуповины. Ряд других авторов описывает мышечную стенку артерий как двухслойную, без эластической мембраны, имеющую два отличительных слоя гладких мышц: внутренний слой, свободно расположенные клетки с обильным основным веществом и внешний слой, циркулярно расположенные клетки [6]. По результатам нашего исследования, эластическая мембрана четко не визуализируется в составе сосудистой стенки пупочных артерий.

В настоящее время ряд авторов описывает в структуре пуповины адвентицию [5]. В то же время они отмечают, что она не имеет четких контуров [6; 7]. Согласно Zawisch (1954), вартонов студень является адвентицией пупочных сосудов

[3]. Адвентиция – это внешний слой сосудистой стенки, содержащий множество клеток, таких как фибробласты и иммунные клетки, а также vasa vasorum. В ответ на сосудистый стресс или повреждение клетки адвентиции первыми претерпевают активацию и фенотипические изменения, и помимо этого, адвентиция выполняет защитную функцию для сосудов [16]. Учитывая данные факты и отсутствие четко выраженной адвентициальной оболочки в наших препаратах, можем предположить, что роль адвентиции берет на себя вартонов студень, так как именно он выполняет вышеперечисленные функции [17].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Топографическое расположение сосудов и морфометрические показатели на трех сегментах пуповины проявляют фенотипическую изменчивость в пределах физиологической нормы. Пупочные сосуды могут располагаться в виде разностороннего треугольника или по прямой линии в пределах одной пуповины. Разнообразная топография сосудов и эмбриональной слизистой соединительной ткани обеспечивает условия для адекватного фетоплацентарного кровообращения. В результате нашего исследования пуповин новорожденных, родившихся через естественные родовые пути без признаков патологии, выведены физиологические параметры изменчивости длины, площадей поперечных сечения площадей пуповины, пупочных сосудов, эмбриональной слизистой соединительной ткани. Расхождения между наблюдаемыми значениями и нормативными показателями могут служить индикаторами патологических состояний. Данный факт может послужить основанием для проведения углублен-

ной диагностики и мониторинга фетального состояния. Пупочный канатик – это сложная циркуляторная система, тесно интегрированная с зоной тканевых щелей плаценты. Эта зона формирует пути ультрациркуляции тканевой жидкости, где происходят ключевые процессы обмена веществ, обеспечивающие развитие плода.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors have no conflict of interests to declare.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Надеев А. П., Шкурупий В. А., Маринкин И. О. Печень и плацента в пери- и постнатальный периоды при патологии: клинико-экспериментальное исследование. Н.: Наука; 2014.
2. Прохоров В. Н., Прохорова О. В., Медведева С. Ю. Морфология тканей пуповины человека при некоторых патологических состояниях беременных. Уральский медицинский журнал. 2014;04(118):30-33.
3. Говорка Э. Плацента человека. Варшава: Польское государственное медицинское издательство; 1970.
4. Stehbens W. E., et al. Histopathology and ultrastructure of human umbilical blood vessels. *Fetal and pediatric pathology*. 2005;6(24):297-315.
5. Lateef R. H. Morphological and histological study of umbilical cord at delivery. *College of Science for Women - Babylon University. University of Kufa*. 2013;1-8. doi:10.36321/KJNS.VI20111.2391.
6. Kato Y. Mechanical environment in the human umbilical cord and its contribution to the fetal circulation. *Maternal and child health. IntechOpen*. 2022;1-14. doi.org/10.5772/intechopen.106565.
7. Sexton A. J., Turmaine M., Cai W. Q., Burnstock G. A study of the ultrastructure of developing human umbilical vessels. *Journal of Anatomy*. 1996;188:75-88.
8. Формирование и патология плаценты. Под ред. Краснопольского В. И. М.: Издательство «Медицина»; 2007.
9. Низяева Н. В. Гистологические критерии воспалительных изменений плодных оболочек плаценты и пуповины. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018;3:180-188. doi:10.17513/mjpf.12172.
10. Попова И. Г., Проценко Е. В., Ситникова О. Г., Назаров С. Б., Кузьменко Г. Н., Харламова Н. В. Патоморфологические и биохимические особенности эндотелия сосудов пуповины при беременности, осложненной преэклампсией. *Проблемы репродукции*. 2022;28(6):44-52. doi:10.17116/repro20222806144.
11. Юпатов Е. Ю., Курманбаев Т. Е., Галимова И. Р., Хаертдинов А. Т., Мухаметова Р. Р.,

Миролюбов А. Л., Аблаева Д. Н., Хромова А. М., Тимерзянов М. И., Леонова М. Д. Тромбоз сосудов пуповины: обзор литературы и описание двух клинических наблюдений. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2022;16(1):81-89. doi:10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2021.260.

12. Волков А. Е. Пренатальная диагностика патологии пуповины. *Медицинский вестник Юга России*. 2011;(2):38-45.

13. Митрофанова И. В., Луцай Е. Д. Варианты макромикроанатомии пуповины при беременности после экстракорпорального оплодотворения. *Оренбургский медицинский вестник*. 2023;3(43):54-59.

14. Львова А. А., Орьевкин К. Н., Мостовой А. В., Ершина Е. В., Громова Н. И., Бородин А. В., Калипина Л. Н. Диагностическая и прогностическая ценность морфометрических показателей пуповины и плаценты в практике неонатолога. *Неонатология: новости, мнения, обучение*. 2014;(3):91-97.

15. Sadler T. W. *Langman's Medical Embryology*. E.: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.

16. Stenmark K. R., Yeager M. E., Kasmi K. C., Nozik-Grayck E., Gerasimovskaya E. V., Li M., Riddle S. R., Frid M. G. The adventitia: essential regulator of vascular wall structure and function. *Annu Rev Physiol*. 2013;75:23-47. doi:10.1146/annurev-physiol-030212-183802.

17. Усманова Н. К., Артыкова Н. П. Взаимосвязь исходов родов и морфологических особенностей пуповины. *Научно-медицинский журнал «Вестник Авиценны» Таджикского государственного медицинского университета им. Абуали ибн Сино*. 2009;3:142-143.

## REFERENCES

1. Nadeev A. P., Shkurupiy V. A., Marinkin I. O. Liver and placenta in the peri- and postnatal periods in pathology: a clinical and experimental study. *Novosibirsk: Nauka*; 2014. (In Russ.).
2. Prokhorov B. N., Prokhorova O. V., Medvedeva S. Yu. Morphology of human umbilical cord tissues in some pathological conditions of pregnant women. *Ural Medical Journal*. 2014;04(118):30-33. (In Russ.).
3. Govorka E. *Human placenta*. Warsaw: Polish State Medical Publishing House; 1970. (In Russ.).
4. Stehbens W. E., et al. Histopathology and ultrastructure of human umbilical blood vessels. *Fetal and pediatric pathology*. 2005;6(24):297-315.
5. Lateef R. H. Morphological and histological study of umbilical cord at delivery. *College of Science for Women - Babylon University. University of Kufa*. 2013;1-8. doi:10.36321/KJNS.VI20111.2391.

6. Kato Y. Mechanical environment in the human umbilical cord and its contribution to the fetal circulation. *Maternal and child health*. IntechOpen. 2022: 1-14. doi:10.5772/intechopen.106565.
7. Sexton A. J., Turmaine M., Cai W. Q., Burnstock G. A study of the ultrastructure of developing human umbilical vessels. *Journal of Anatomy*. 1996;188:75-88.
8. Formation and pathology of the placenta. Ed. Krasnopolsky V.I. Moscow: Medicine Publishing House; 2007. (In Russ.).
9. Nizyaeva N. V. Histological criteria for inflammatory changes in the fetal membranes of the placenta and umbilical cord. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;3:180-188. (In Russ.). doi:10.17513/mjpf.12172.
10. Popova I. G., Protsenko E. V., Sitnikova O. G., Nazarov S. B., Kuzmenko G. N., Kharlamova N. V. Pathomorphological and biochemical features of the umbilical cord vascular endothelium during pregnancy complicated by preeclampsia. *Reproduction Problems*. 2022;28(6):44-52. (In Russ.). doi:10.17116/repro20222806144.
11. Yupatov E. Yu., Kurmanbaev T. E., Galimova I. R., Khaertdinov A. T., Mukhametova R. R., Mirolyubov A. L., Ablava D. N., Khromova A. M., Timerzyanov M. I., Leonova M. D. Umbilical cord vascular thrombosis: a literature review and description of two clinical observations. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2022;16(1):81-89. (In Russ.). doi:10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2021.260.
12. Volkov A. E. Prenatal diagnostics of umbilical cord pathology. *Medical Bulletin of the South of Russia*. 2011;(2): 38-45. (In Russ.).
13. Mitrofanova I. V., Lutsay E. D. Variants of umbilical cord macromicroanatomy during pregnancy after in vitro fertilization. *Orenburg Medical Bulletin*. 2023;3(43):54-59. (In Russ.).
14. Lvova A. A., Oryevkin K. N., Mostovoy A. V., Ershina E. V., Gromova N. I., Borodina A. V., Kalipina L. N. Diagnostic and prognostic value of morphometric parameters of the umbilical cord and placenta in the practice of a neonatologist. *Neonatology: news, opinions, training*. 2014;(3):91-97. (In Russ.).
15. Sadler T. W. *Langman's Medical Embryology*. E.: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
16. Stenmark K. R., Yeager M. E., Kasmi K. C., Nozik-Grayck E., Gerasimovskaya E. V., Li M., Riddle S. R., Frid M. G. The adventitia: essential regulator of vascular wall structure and function. *Annu Rev Physiol*. 2013; 75: 23-47. doi:10.1146/annurev-physiol-030212-183802.
17. Usmanova N. K., Artykova N. P. Relationship between birth outcomes and morphological features of the umbilical cord. *Scientific and medical journal «Avicenna Bulletin» of the Tajik State Medical University named after Avicenna*. 2009;3:142-143. (In Russ.).