

УДК 537.635+616-073.756.8+616.425-053+612.423+611.42+519.23+303.443+616-091

ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРУДНОГО ЛИМФАТИЧЕСКОГО ПРОТОКА МЕТОДОМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

© Дамир Асиятович Малекон¹, Александр Владимирович Поздняков^{1,2,3},
Лариса Ярославовна Канина¹, Дарья Викторовна Малекон⁴, Екатерина Александровна Зверева¹,
Александр Владимирович Виноградов¹

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

² Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова. 197758, Санкт-Петербург, п. Песочный, Ленинградская ул., д. 70

³ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова. 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41

⁴ Городской врачебно-физкультурный диспансер. 191028, Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, д. 18

Контактная информация: Дамир Асиятович Малекон — ассистент кафедры медицинской биофизики.
E-mail: d.a.malekov@gmail.com

Поступила: 29.01.2021

Одобрена: 12.03.2021

Принята к печати: 23.03.2021

Резюме: Материал основан на ретроспективном анализе результатов магнитно-резонансной лимфографии грудного протока у 41 обследуемого с использованием протоколов 3D_MRCP_NAV и 3D_MRCP_RT. Магнитно-резонансная томография может визуализировать грудной лимфатический проток более чем в 50% случаев. Изменение параметров протокола 3D_MRCP_RT позволяет повысить результат визуализации грудного протока в 2 раза по сравнению с протоколом 3D_MRCP_NAV. В работе не выявлено гендерной зависимости в отношении анатомической особенности строения грудного лимфатического протока. Выявлена низкая способность к визуализации грудного лимфатического протока у новорожденных, что обусловлено возрастными анатомическими особенностями исследуемых.

Ключевые слова: МРТ; МР-лимфография; лимфатическая система.

POSSIBILITIES OF VISUALIZATION OF THE THORACIC LYMPHATIC DUCT BY MAGNETIC RESONANCE IMAGING

© Damir A. Malekov¹, Alesander V. Pozdnyakov^{1,2,3}, Larisa Ya. Kanina¹, Darya V. Malekova⁴,
Ekaterina A. Zvereva¹, Alexander V. Vinogradov¹

¹ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Saint-Petersburg, Litovskaya str., 2

² Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granova. 197758, Saint-Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya st., 70

³ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov. 191015, Saint-Petersburg, ul. Kirochnaya, 41

⁴ City medical and physical dispensary. 191028, Saint-Petersburg, nab. R. Fontanka, 18

Contact information: Damir A. Malekov — Assistant of the Department of Medical Biophysics. E-mail: d.a.malekov@gmail.com

Received: 29.01.2021

Revised: 12.03.2021

Accepted: 23.03.2021

Abstract: The material is based on a retrospective analysis of the results of magnetic resonance lymphography of the thoracic duct in 41 subjects using the 3D_MRCP_NAV and 3D_MRCP_RT protocols. Magnetic resonance imaging can visualize the thoracic lymphatic duct in more than 50% of cases. Changing the parameters of the 3D_MRCP_RT protocol led to a 2-fold increase in the degree of visualization of the thoracic duct. The study did not reveal gender dependence in relation to the anatomical features of the structure of the thoracic lymphatic duct. The low ability to visualize the thoracic lymphatic duct in newborns was revealed, which is due to the age-related anatomical features of the subjects.

Key words: MRI; MR lymphography; lymphatic system.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема визуализации путей лимфатической системы до сих пор является актуальным вопросом в медицине. Многообразие анатомо-физиологических особенностей строения лимфатической системы создает ряд проблем для этапов лечения, обеспечивающих коррекцию патологических состояний [1–5]. Именно поэтому большое значение придается методам исследования грудного лимфатического протока. Современные возможности визуализации и анализа позволяют по-новому взглянуть на данную проблему [6–8].

Методика MRCP (MR cholangiopancreatography) основана на T2-взвешенных последовательностях, усиливающих сигнал от статической жидкости, содержащейся в мягкотканых структурах, тогда как твердые ткани и кровь имеют низкий сигнал. При использовании этой методики сигналы от жидких фракций усиливаются, другие же сигналы подавляются на основании того принципа, что лимфа, протекающая через грудной проток, проявляет себя как гиперинтенсивная жидкость на T2-взвешенных изображениях [9, 10]. Методика применялась для улучшения изображения грудного протока (MRTD-Magnetic resonance thoracic dust) [11, 12]. В результате использования MRCP может быть достигнуто высокое качество визуализации (94%), что также позволяет обнаруживать различные аномалии грудного протока [13–15]. Однако в связи с тем, что при этой методике имеется возможность использовать различные программы (3D MRCP NAV и 3D MRCP RT), возникла необходимость изучения анатомической и диагностической значимости этих методик.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение качества визуализации грудного лимфатического протока с помощью магнитно-резонансной томографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал основан на ретроспективном анализе результатов магнитно-резонансной лимфографии грудного протока у 41 обследуемого с использованием протоколов 3D MRCP NAV и 3D MRCP RT. Отличия протоколов состояли в наличии ручной системы навигации у протокола 3D MRCP NAV и автоматической системы навигации по дыхательному триггеру в протоколе 3D MRCP RT. Исследования проводились на магнитно-резонансном томографе Philips Healthcare Ingenia напряженностью магнитного поля в 1,5 Т в отде-

лении лучевой диагностики клиники ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ.

Для получения достоверной информации о состоянии грудного лимфатического протока применяли критерии отбора изображений, к которым отнесли:

- отсутствие или минимальное присутствие естественных анатомических структур, перекрывающих визуализацию грудного лимфатического протока;
- воздействие дыхательного эквивалента при движении грудной клетки и (или) диафрагмы;
- влияние динамической составляющей сердечной деятельности на изображение лимфатического протока;
- возрастные особенности обследуемого (размер грудного протока, его топография);
- близкое расположение прилежащих сосудов, оказывающих динамическое воздействие на грудной лимфатический проток при его визуализации.

Анализировались следующие протоколы импульсных последовательностей:

3D T1 TFE — протокол получения T1-взвешенных изображений (T1-ВИ) с помощью импульсной последовательности градиентного эха с ускоренным сбором данных;

T2W SE T2 — протокол получения T2-взвешенных изображений (T2-ВИ);

3D MRCP NAV и 3D MRCP RT — протокол получения T2-взвешенных изображений с получением структур, содержащих в себе «взвешенную» жидкость.

Качественный анализ результатов исследования включал визуализацию грудного лимфатического протока с последующей обработкой изображений с помощью программного обеспечения Philips IntelliSpace Portal 6.0.

Количественный анализ предполагал измерение диаметра грудного лимфатического протока на уровне Th_{IX} и Th_{XII}, диаметра и длины цистерны хили в группе обследованных пациентов.

Возрастные группы, которым была выполнена магнитно-резонансная лимфография, представлены на рисунке 1.

Мужчин в группах было 19 человек, женщин — 22.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основными различиями в параметрах используемых последовательностей явилась ручная навигация зоны сканирования в протоколе 3D MRCP NAV и автоматическая навигация с включением по респираторному триггеру в протоколе 3D MRCP RT. В протоколе 3D MRCP RT также были уменьшены размеры вокселя и увеличены размеры матрицы, что способствовало повышению

разрешения получаемого изображения, увеличены количества эхо-сигналов, получаемых после каждого возбуждения, увеличен процент сканирования, увеличено подавление активности сигнала от однородной ткани и уменьшено соотношение сигнал/шум. Изменение параметров протокола 3D MRCP RT привело к повышению степени визуализации грудного протока в 2 раза по сравнению с 3D MRCP NAV (рис. 2).

Данные результаты также оценили и подтвердили качественными изменениями на полученных изображениях. На рисунке 3 представлены резуль-

таты МРТ-визуализации грудного лимфатического протока по двум используемым протоколам.

При оценке качества изображения анализировалась однородность подавления тканевого контраста разных анатомических структур, не относящихся к грудному лимфатическому протоку, основанная на интенсивности пиков активности в определенном пикселе изображения. Обе последовательности имели достаточное качество для визуализации выбранной зоны интереса, однако на 3D MRCP RT подавление тканевого контраста выше, что способствует повышению качества изображения.



Рис. 1. Возрастные группы. Наибольшее количество обследованных было в группе взрослых и подростков

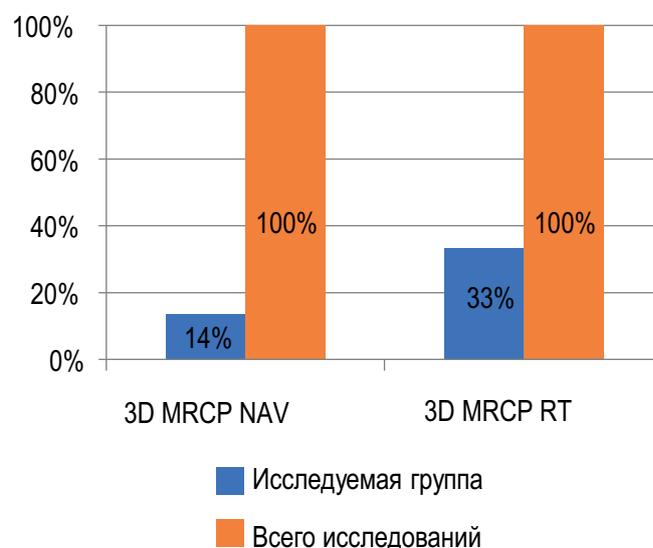


Рис. 2. Диаграмма сравнительной оценки возможности визуализации грудного лимфатического протока

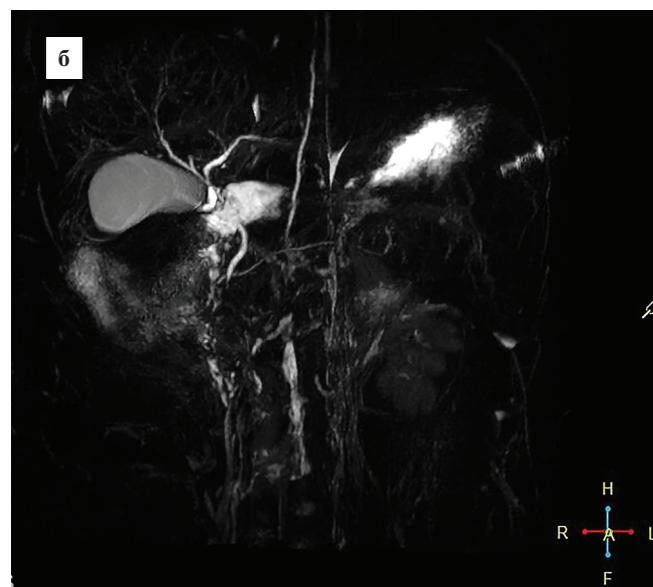


Рис. 3. Магнитно-резонансная томография грудного лимфатического протока: а — MIP-реконструкция по протоколу 3D MRCP NAV; б — MIP-реконструкция по протоколу 3D MRCP RT

На рисунке 4 представлены МРТ-изображения для каждого из используемых протоколов. Для оценки качества построены графики с пиками определенных высот, позволяющих оценить вклад каждого сигнала в получаемое изображение.

Для однородной ткани интенсивность сигнала была минимальна, чему соответствует малая кривая в левой нижней части изображения (рис. 4, а). В зоне интереса имеется высокий пик, соответствующий сигналу от грудного лимфатического протока.

Вместе с тем изучение характера гистограммы от тканей, расположенных рядом с протоком (протокол 3D MRCP RT. рис. 4, б), позволяет судить о снижении сигналов, получаемых от соседних анатомических структур, не входящих в зону интереса.

Для анализа соотношения сигнал/шум были построены гистограммы, оценивающие одинаковую для двух последовательностей площадь изображения. Данные представлены на рисунке 5.

Основные значения гистограмм представлены в таблице 1.

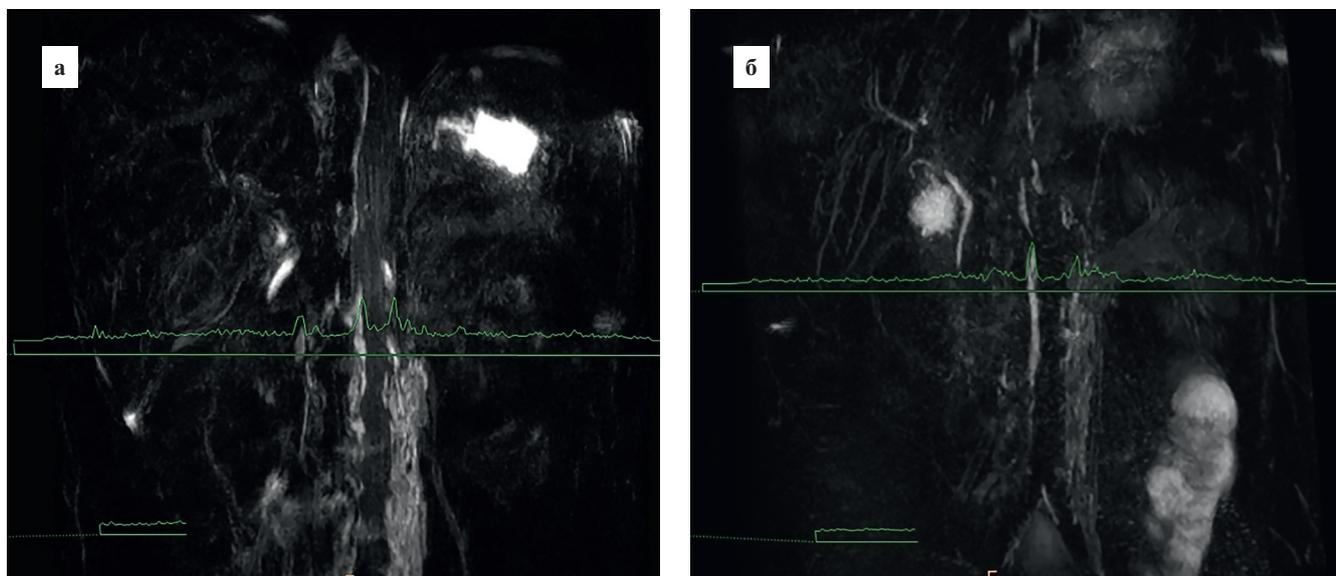


Рис. 4. Магнитно-резонансная томография: а — MIP-реконструкция по протоколу 3D MRCP NAV; б — MIP-реконструкция по протоколу 3D MRCP RT. На изображении представлены графики пиков, характеризующие подавление тканевого контраста при исследовании

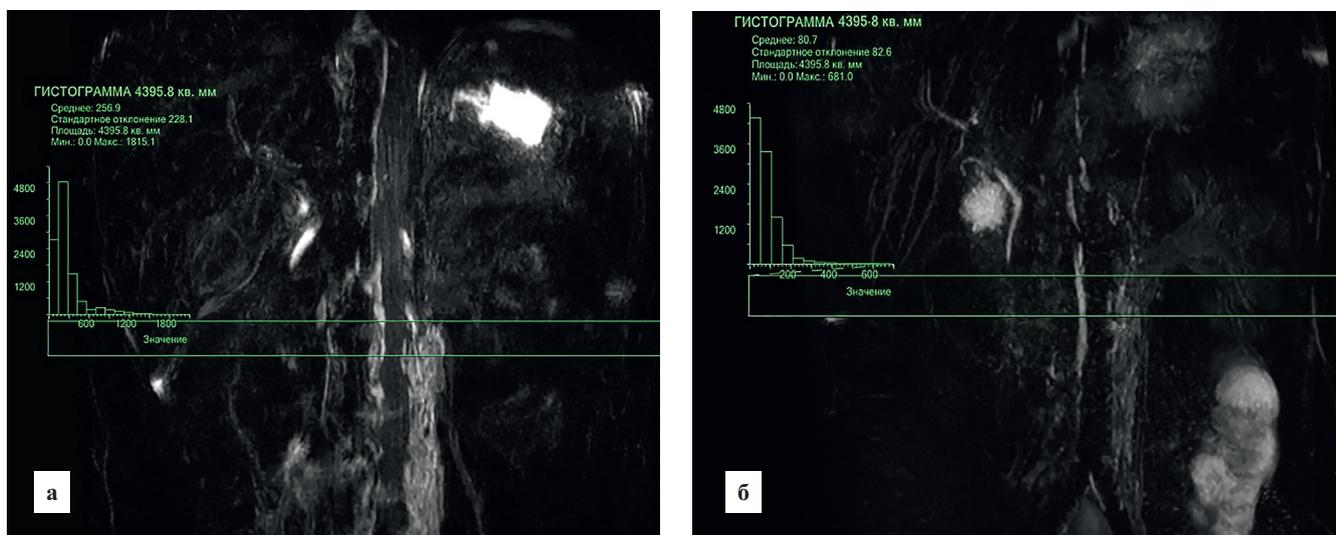


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография: а — MIP-реконструкция по протоколу 3D MRCP NAV MIP; б — реконструкция по протоколу 3D MRCP RT. На изображении построены гистограммы, основанные на результатах соотношения сигнал/шум

Данные изменения позволяют судить о снижении параметров соотношения сигнал/шум в протоколе 3D MRCP RT.

В ходе работы исследуемая группа была проанализирована по основным анатомическим параметрам грудного лимфатического протока, к которым относится диаметр грудного протока на уровне 9 и 12 грудного позвонков (Th_{IX} и Th_{XII}), диаметр и длина цистерны хили. Данные измерений приведены в таблице 2.

Результаты визуализации грудного протока

В ходе исследовательской работы по полученным результатам были выделены три группы:

- 30 исследований с полностью визуализированным грудным протоком и его составляющими;
- 6 исследований с частично визуализированным грудным протоком;
- 5 исследований с только визуализированной цистерной хили.

По результатам таблицы 3 МРТ с использованием одноимпульсной последовательности TSE позволила полностью визуализировать грудной лимфатический проток в 73% случаев.

36 исследований с визуализированным каналом грудного лимфатического протока были подразделены на группы по типу его расположения относительно позвоночного столба (табл. 4):

- 22 исследования с правосторонним грудным протоком;
- 6 исследований с билатеральным грудным протоком;
- 5 исследований с центральным грудным протоком;
- 3 исследования с левосторонним грудным протоком.

Таким образом, наибольший процент по обоим полам составил правосторонний тип, доля женщин составила 65,2%, доля мужчин — 53,84%.

Таблица 1

Соотношение по показателю сигнал/шум для протоколов 3D_MRCP_NAV и 3D_MRCP_RT

Показатели	3D_MRCP_NAV	3D_MRCP_RT
Среднее значение	256,9	80,7
Стандартное отклонение	228,1	82,6

Таблица 2

Параметры грудного протока

Показатели	Диаметр грудного протока Th_{IX}	Диаметр грудного протока Th_{XII}	Диаметр цистерны хили, d	Длина цистерны хили, l
Среднее значение, мм	2,4	3,1	6,8	15,3
Стандартное отклонение	0,7	0,6	2,0	3,3



Рис. 6. Магнитно-резонансная томография: *а* — MIP-реконструкция МРТ-изображения грудного протока, показаны уровни измерения параметров грудного протока; *б* — МР-томограмма в коронарной проекции, показаны уровни измерения параметров грудного протока

Наименьший процент среди мужчин составил левосторонний тип (7,7%), среди женщин — левосторонний и центральный типы (8,7%). Варианты анатомического расположения грудного лимфатического протока представлены на рисунках 7–17.

Исследования, в которых была визуализирована цистерна хили, подразделены, ориентируясь по форме, характеризующийся типом впадения подвздошных лимфатических сосудов и кишечного лимфатического ствола (табл. 5):

- 3 исследования с U-образным типом впадения в цистерну хили;
- 23 исследования с V-образным типом впадения в цистерну хили;
- 6 исследований с билатеральным типом впадения в цистерну хили;

- 2 исследования с кистеобразным типом впадения в цистерну хили.

Таким образом, наибольший процент по обоим полам составил V-образный тип, доля женщин составила 66,7%, доля мужчин — 64,3%. Наименьший процент среди женщин составил U-образный тип (4,8%), среди мужчин наименьший процент пришелся на кистеобразный тип (7,1%).

Сама цистерна хили также имела различную конформацию, и по форме цистерны исследования были подразделены на (табл. 6):

- 14 исследований с цилиндрической цистерной хили;
- 15 исследований цистерны хили с утолщениями;
- 6 исследований с конусообразной цистерной хили.

Таблица 3

Соотношение степени визуализации грудного протока к полу

Обследуемые	Полностью визуализированный грудной проток		Частично визуализированный проток		Визуализирована цистерна хили	
	n	%	n	%	n	%
Женщины	19	46	4	10	2	6
Мужчины	11	27	2	4	3	7
Всего	30	73	6	14	5	13

Таблица 4

Соотношение расположения грудного протока относительно позвоночного столба к полу

Обследуемые	Правосторонний грудной проток		Левосторонний грудной проток		Билатеральный грудной проток		Центральный грудной проток	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Женщины	15	41,7	2	5,6	4	11,1	2	5,6
Мужчины	7	19,4	1	2,7	2	5,6	3	8,3
Всего	22	61,1	3	8,3	6	16,7	5	13,9

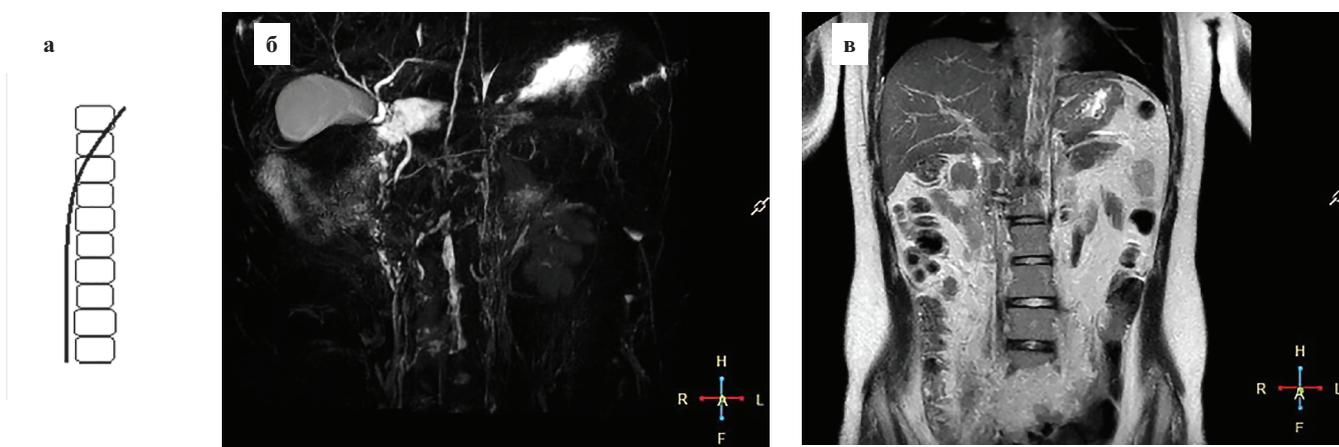


Рис. 7. Схематическое изображение правостороннего типа расположения грудного протока (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования правостороннего типа расположения грудного протока (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)



Рис. 8. Схематическое изображение билатерального типа расположения грудного протока (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования билатерального типа расположения грудного протока (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)



Рис. 9. Схематическое изображение левостороннего типа расположения грудного протока (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования левостороннего типа расположения грудного протока (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

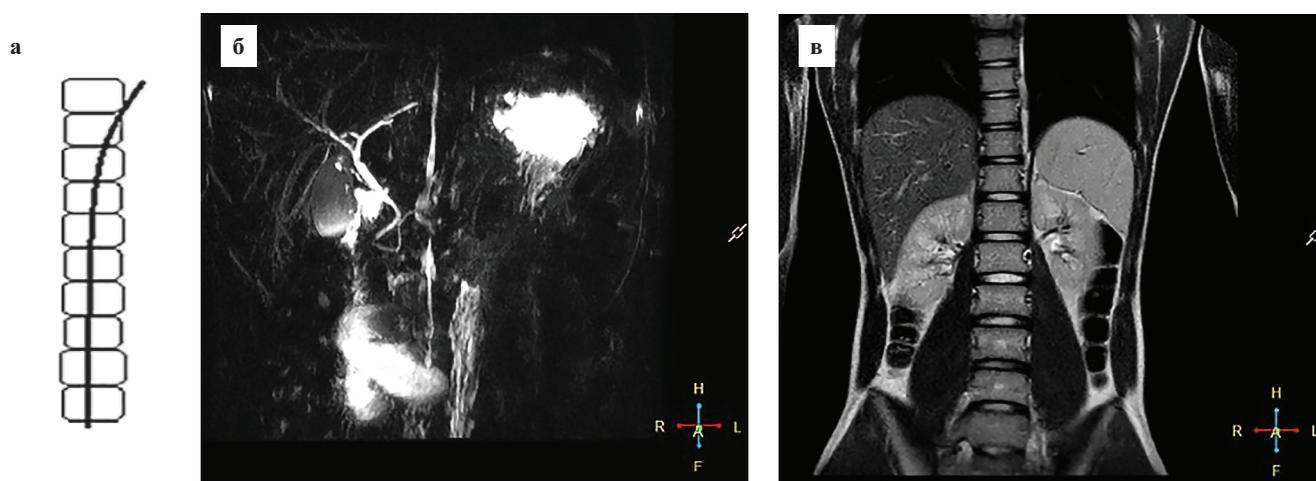


Рис. 10. Схематическое изображение центрального типа расположения грудного протока (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования центрального типа расположения грудного протока (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

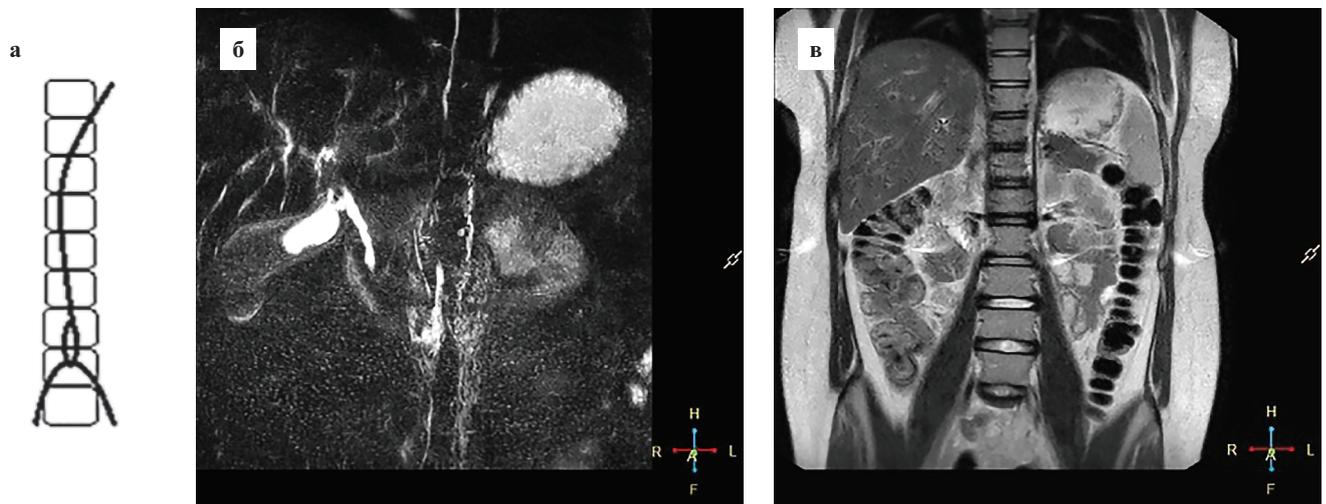


Рис. 11. Схематическое изображение U-образного типа впадения в цистерну хили (а); MIP-реконструкция МРТ-исследования U-образного типа впадения в цистерну хили (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

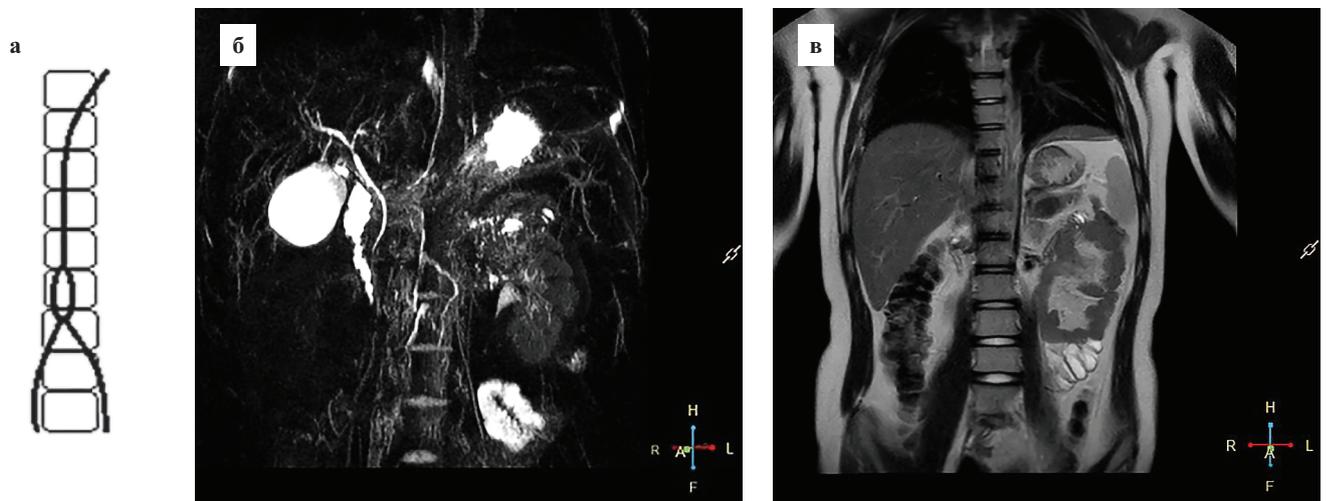


Рис. 12. Схематическое изображение V-образного типа впадения в цистерну хили (а); MIP-реконструкция МРТ-исследования V-образного типа впадения в цистерну хили (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

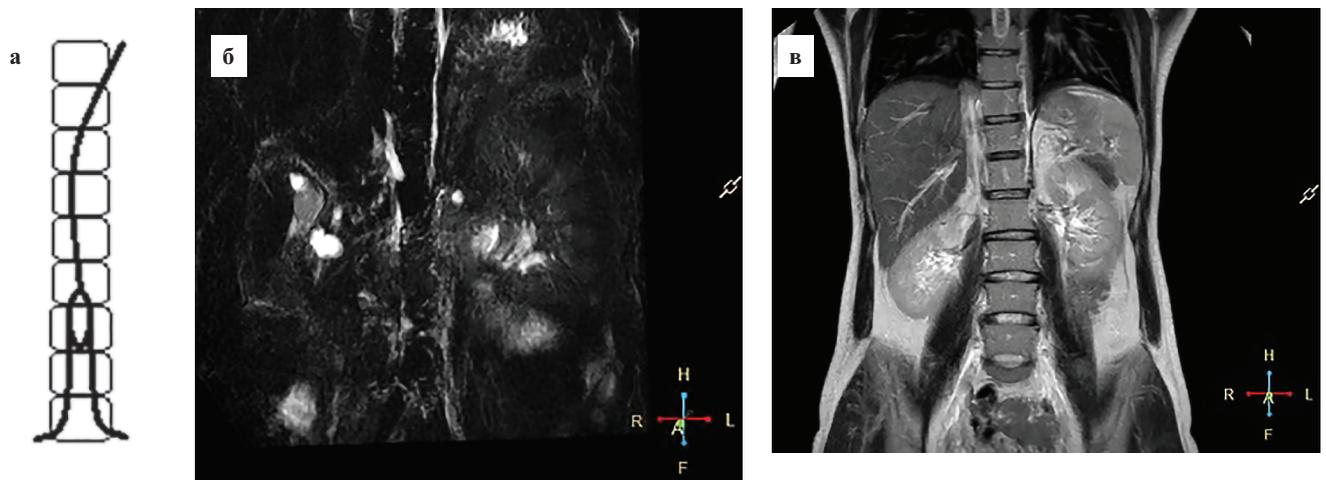


Рис. 13. Схематическое изображение билатерального типа впадения в цистерну хили (а); MIP-реконструкция МРТ-исследования билатерального типа впадения в цистерну хили (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

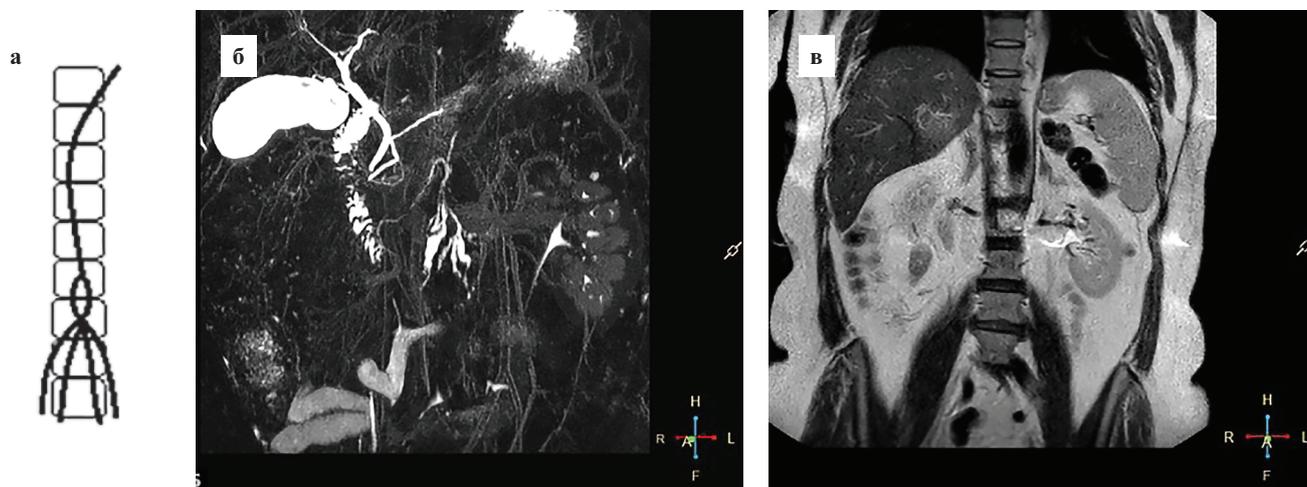


Рис. 14. Схематическое изображение кистеобразного типа впадения в цистерну хили (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования кистеобразного типа впадения в цистерну хили (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

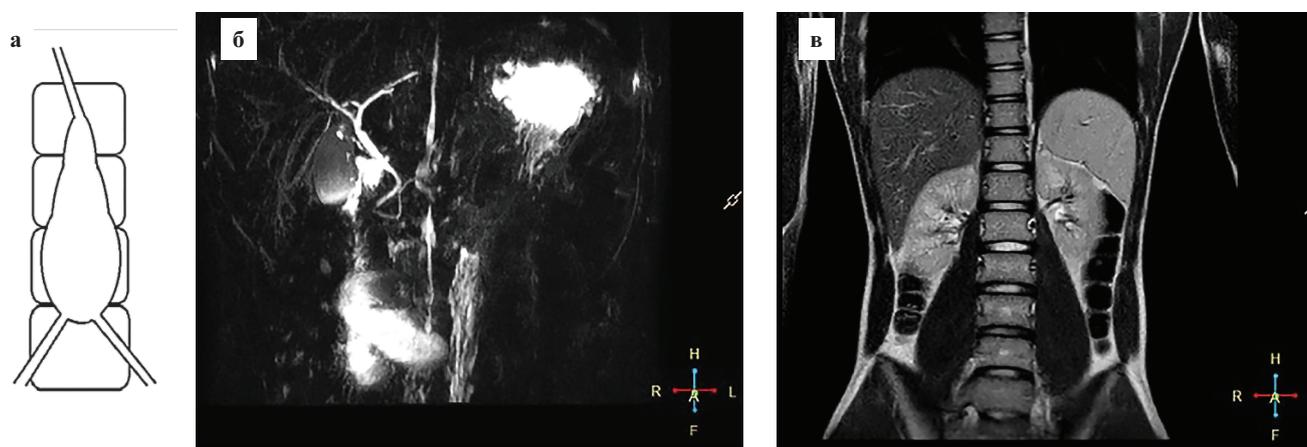


Рис. 15. Схематическое изображение конусообразного типа цистерны хили (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования конусообразного типа цистерны хили (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)



Рис. 16. Схематическое изображение типа цистерны хили с утолщениями (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования типа цистерны хили с утолщениями (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

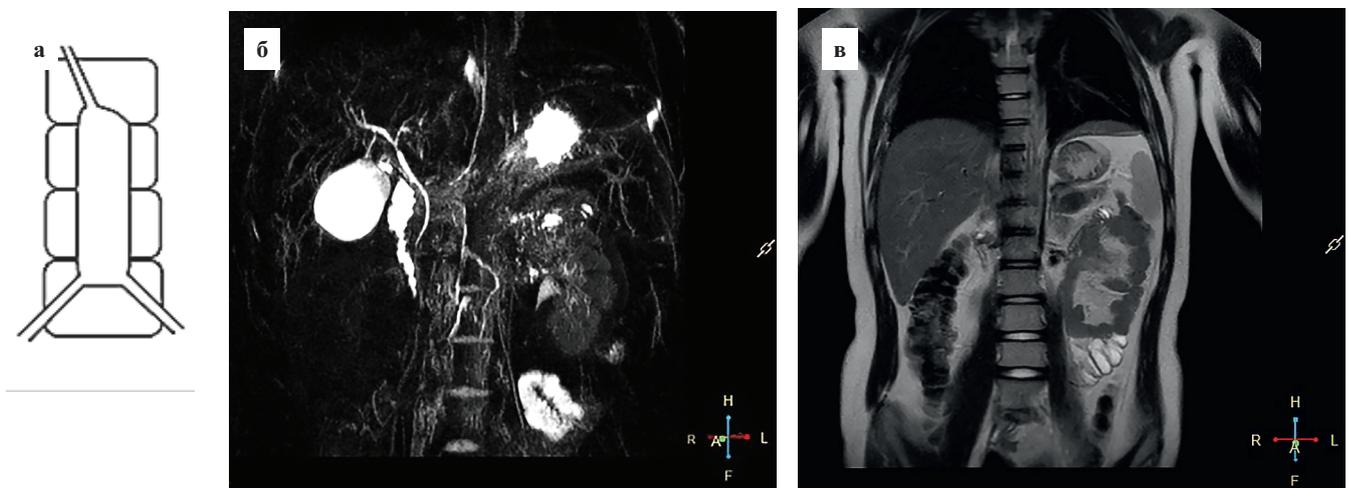


Рис. 17. Схематическое изображение цилиндрического типа цистерны хили (а); МIP-реконструкция МРТ-исследования цилиндрического типа цистерны хили (б); МР-томограмма в коронарной проекции (в)

Таблица 5

Соотношение по типу впадения лимфатических сосудов, формирующих цистерну хили к полу

Обследуемые	С U-образным типом		С V-образным типом		С билатеральным типом		С кистеобразным типом	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Женщины	1	2,9	14	41,2	4	11,7	2	5,9
Мужчины	2	5,9	9	26,4	2	5,9	1	2,9
Всего	3	8,8	23	67,6	6	17,6	3	8,8

Таблица 6

Соотношение формы цистерны хили к полу

Обследуемые	Цилиндрическая цистерна хили		Цистерна хили с утолщениями		Конусообразная цистерна хили	
	n	%	n	%	n	%
Женщины	8	22,9	10	29	3	8,5
Мужчины	6	17,1	5	14	3	8,5
Всего	14	40	15	43	6	17

Таким образом, наибольший процент среди женщин составил тип цистерны хили с утолщениями — 47,6%, среди мужчин наибольший процент составил цилиндрический тип — 42,9%. Наименьший процент среди обоих полов пришелся на конусообразный тип цистерны хили, среди женщин — 14,2%, среди мужчин — 21,4%.

Влияние возрастного параметра в визуализации грудного лимфатического протока

В ходе исследования в возрастной группе периода новорожденности визуализация грудного лимфатического протока составила 7%, это обусловлено несколькими факторами (рис. 18).

У новорожденных грудной лимфатический проток имеет предельно малые размеры, которые не могут быть визуализированы методом МРТ в связи с ограничением по разрешающей способности визуализируемого объекта. Таким обра-

зом, грудной лимфатический проток, параметры которого меньше определенного значения, не могут быть визуализированы при исследовании.

У новорожденных также имеются проблемы визуализации, связанные с анатомическими особенностями динамического воздействия факторов дыхания и сердцебиения, показатели которых значительно выше, чем у взрослых и детей. Это в свою очередь оказывает непосредственное влияние на возможность визуализации грудного лимфатического объекта.

ВЫВОДЫ

Магнитно-резонансная томография может визуализировать грудной лимфатический проток более чем в 50% случаев.



Рис. 18. Соотношение визуализации грудного лимфатического протока в возрастных группах исследования

Изменение параметров протокола 3D_MRCP_RT привело к повышению степени визуализации грудного протока в 2 раза.

В работе не выявлено гендерной зависимости в отношении анатомической особенности строения грудного лимфатического протока.

Выявлена низкая способность к визуализации грудного лимфатического протока у новорожденных, что обусловлено возрастными анатомическими особенностями исследуемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашин А., Здорикова М., Димов И. и др. Механизмы лимфангиогенеза в эмбриогенезе и наследственная патология лимфатических сосудов. *Russian Biomedical Research*. 2020; 5(3): 37–43.
2. Ayse Erden, Suat Fitoz et al. Abdominal Confluence of Lymph Trunks: Detectability and Morphology on Heavily T2-Weighted Images. *AJR Am J Roentgenol*. 2005; 184(1): 35–40.
3. De-xin Yu, Xiang-Xing Ma et al. Morphological changes of the thoracic duct and accessory lymphatic channels in patients with chylothorax: detection with unenhanced magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2013; 23(3): 702–11.
4. Малек Д.А., Канина Л.Я., Поздняков А.В. Магнитно-резонансная лимфография в клинической практике. Лимфология: от фундаментальных исследований к медицинским технологиям. Материалы XIII международной научно-практической конференции памяти академика Ю.И. Бородин. Новосибирск, 20–21 ноября 2018 года. Новосибирск: Печатный ДворЪ; 2018: 72–4.
5. Itsuko Okuda, Harushi Udagawa et al. Magnetic resonance-thoracic ductography: imaging aid for thoracic surgery and thoracic duct depiction based on embryological considerations. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2009; 57(12): 640–6.
6. John E. Skandalakis, Lee. J. Skandalakis et al. Anatomy of the Lymphatics. *Surg Oncol Clin N Am*. 2007; 16(1): 1–16.
7. Omer Akcali, Amac Kiray et al. Thoracic duct variations may complicate the anterior spine procedures. *Eur Spine J*. 2006; 15(9): 347–51.

8. Разинова А.А., Гребенюк М.М., Поздняков А.В. и др. Высокотехнологичные методы визуализации (физико-технические основы высокотехнологичных методов визуализации). СПб.: СПбГПМУ; 2019.
9. Takahashi H., Kuboyama S. et al. Clinical feasibility of noncontrast-enhanced magnetic resonance lymphography of the thoracic duct. *Chest*. 2003; 124(6): 2136–42.
10. Chen S., Tan X., Wu R. et al. Non-enhanced MR lymphography of the thoracic duct: improved visualization following ingestion of a high fat meal-initial experience. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017; 37(6): 730–3.
11. Hai-Peng Pan, Qun Lao et al. MR Lymphangiography for Focal Disruption of the Thoracic Duct in Chylothorax of an Infant: a Case Report and Literature Review. *Chin Med Sci J*. 2017; 32(4): 265–8.
12. Сесорова И.С. Морфофункциональные особенности репаративной регенерации внутренней оболочки грудного протока. *Вестник лимфологии*. 2010; 3: 220–4.
13. Шишло В.К. Филогенез и онтогенез лимфатической системы. *Вестник лимфологии*. 2013; 4: 410–7.
14. Шуркус Е.А. Синтопия дистальных отрезков грудных протоков и лимфатических мешков поясничной области. *Вестник лимфологии*. 2014; 3: 7–10.
15. Воронцов И.М., Шаповалов В.В., Шерстюк Ю.М. Здоровье. Создание и применение автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. СПб.; 2006.

REFERENCES

1. Kashin A., Zdorikova M., Dimov I. i dr. Mekhanizmy limfangiogeneza v embriogeneze i nasledstvennaya patologiya limfaticeskikh sosudov [Mechanisms of lymphangiogenesis in embryogenesis and hereditary pathology of lymphatic vessels]. *Russian Biomedical Research*. 2020; 5(3): 37–43 (in Russian)
2. Ayse Erden, Suat Fitoz et al. Abdominal Confluence of Lymph Trunks: Detectability and Morphology on Heavily T2-Weighted Images. *AJR Am J Roentgenol*. 2005; 184(1): 35–40.
3. De-xin Yu, Xiang-Xing Ma et al. Morphological changes of the thoracic duct and accessory lymphatic channels in patients with chylothorax: detection with unenhanced magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2013; 23(3): 702–11.
4. Malekov D.A., Kanina L.Ya., Pozdnyakov A.V. Magnetic resonance lymphography in clinical practice. *Lymphology: from fundamental research to medical technologies*. [Magnetic resonance lymphography in clinical practice. Lymphology: from basic research to medical technology]. Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Memory Conference Academician Yu.I. Borodin. Novosibirsk. November 20–21, 2018. Novosibirsk: Pechatny Dvor; 2018: 72–4. (in Russian)

5. Itsuko Okuda, Harushi Udagawa et al. Magnetic resonance–thoracic ductography: imaging aid for thoracic surgery and thoracic duct depiction based on embryological considerations. *Gen Thorac Cardiovasc Surg.* 2009; 57(12): 640–6.
6. John E. Skandalakis, Lee. J. Skandalakis et al. Anatomy of the Lymphatics. *Surg Oncol Clin N Am.* 2007; 16(1): 1–16.
7. Omer Akcali, Amac Kiray et al. Thoracic duct variations may complicate the anterior spine procedures. *Eur Spine J.* 2006; 15(9): 347–51.
8. Razinova A.A., Grebenyuk M.M., Pozdnyakov A.V. i dr. Visualization methods (physical and technical foundations of high-tech visualization methods). SPb.: SPbGPMU; 2019. (in Russian)
9. Takahashi H., Kuboyama S. et al. Clinical feasibility of non-contrast-enhanced magnetic resonance lymphography of the thoracic duct. *Chest.* 2003; 124(6): 2136–42.
10. Chen S., Tan X., Wu R. et al. Non-enhanced MR lymphography of the thoracic duct: improved visualization following ingestion of a high fat meal-initial experience. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2017; 37(6): 730–3.
11. Hai-Peng Pan, Qun Lao et al. MR Lymphangiography for Focal Disruption of the Thoracic Duct in Chylothorax of an Infant: a Case Report and Literature Review. *Chin Med Sci J.* 2017; 32(4): 265–8.
12. Sesorova I.S. Morphofunctional features of reparative regeneration of the inner shell of the thoracic duct. [Morphofunctional features of reparative regeneration of the inner lining of the thoracic duct]. *Bulletin of Lymphology.* 2010; 3: 220–24. (in Russian)
13. Shishlo V.K. Filogenez i ontogenez limfaticeskoy sistemy. [Phylogenesi and ontogeny of the lymphatic system]. *Vestnik limfologii.* 2013; 4: 410–7. (in Russian)
14. Shurkus Ye.A. Sintopiya distal'nykh otrezkov grudnykh protokov i limfaticeskikh meshkov poyasnichnoy oblasti. [Syntopy of the distal segments of the thoracic ducts and lymph sacs of the lumbar region]. *Vestnik limfologii.* 2014; 3: 7–10. (in Russian)
15. Vorontsov I.M., Shapovalov V.V., Sherstyuk Yu.M. Zdorov'ye. Sozdaniye i primeneniye avtomatizirovannykh sistem dlya monitoringa i skriniruyushchey diagnostiki narusheniya zdorov'ya. Opyt razrabotki i obosnovaniye primeneniya avtomatizirovannykh sistem dlya monitoringa i skriniruyushchey diagnostiki narusheniya zdorov'ya. [Health. Creation and application of automated systems for monitoring and screening diagnostics of health disorders. Experience in the development and justification of the use of automated systems for monitoring and screening diagnostics of health disorders]. SPb.; 2006. (in Russian)