

УДК 616-005.96-07+617.58+611.428+612.42+616-053.2+543.429.2
DOI: 10.56871/ViM.2024.84.49.002

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ЛИМФЕДЕМЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ДЕТЕЙ МЕТОДОМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ЛИМФОГРАФИИ

© Дамир Асиятович Малеков, Лариса Ярославовна Канина, Артем Владимирович Косулин, Александр Владимирович Поздняков, Наталья Викторовна Марченко, Ольга Федоровна Позднякова, Майя Михайловна Гребенюк

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

Контактная информация: Дамир Асиятович Малеков — старший преподаватель кафедры медицинской биофизики.
E-mail: d.a.malekov@gmail.com SPIN: 8804-4630

Для цитирования: Малеков Д.А., Канина Л.Я., Косулин А.В., Поздняков А.В., Марченко Н.В., Позднякова О.Ф. Современный подход к диагностике лимфедемы нижних конечностей у детей методом магнитно-резонансной лимфографии // Визуализация в медицине. 2024. Т. 6. № 3. С. 9–18. DOI: <https://doi.org/10.56871/ViM.2024.84.49.002>

Поступила: 11.09.2024

Одобрена: 01.10.2024

Принята к печати: 30.10.2024

Резюме. Лимфедема — врожденное или приобретенное заболевание с хроническим прогрессирующим течением. В настоящее время критерии диагностики лимфедемы конечностей имеют дискуссионный характер. Цель нашей работы: оценка диагностической эффективности методики непрямой магнитно-резонансной лимфографии при лимфедеме. С помощью непрямой магнитно-резонансной лимфографии могут быть визуализированы и оценены лимфатические узлы и лимфоколлекторы при функциональных и структурных нарушениях.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, МР-лимфография, лимфедема

MODERN APPROACH TO THE DIAGNOSTIC OF LOWER EXTREMITIES LYMPHEDEMA PAEDIATRIC PATIENTS BY USING MAGNETIC RESONANCE LYMPHOGRAPHY

© Damir A. Malekov, Larisa Ya. Kanina, Artem V. Kosulin, Alexander V. Pozdnyakov, Natalia V. Marchenko, Olga F. Pozdnyakova, Maya M. Grebenyuk

Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100 Russian Federation

Contact information: Damir A. Malekov — Senior Lecturer at the Department of Medical Biophysics.
E-mail: d.a.malekov@gmail.com SPIN: 8804-4630

For citation: Malekov DA, Kanina LYa, Kosulin AV, Pozdnyakov AV, Marchenko NV, Pozdnyakova OF. Modern approach to the diagnostic of lower extremities lymphedema paediatric patients by using magnetic resonance lymphography. Visualization in Medicine. 2024;6(3):9–18. DOI: <https://doi.org/10.56871/ViM.2024.84.49.002>

Received: 11.09.2024

Revised: 01.10.2024

Accepted: 30.10.2024

Abstract. Lymphedema is a congenital or acquired disease with a chronic progressive course. Currently, the diagnostic criteria for limb lymphedema are controversial. The aim of our work was to evaluate the diagnostic efficiency of the indirect magnetic resonance lymphography technique for lymphedema. With the help of indirect magnetic resonance lymphography, lymph nodes and lymph collectors can be visualized and assessed in case of functional and structural disorders.

Keywords: magnetic resonance imaging, MR-lymphography, lymphedema

ВВЕДЕНИЕ

Лимфедема — врожденное или приобретенное заболевание с хроническим прогрессирующим течением, в основе которого лежит нарушение транспортной функции лимфатической жидкости по

коллекторам. Данное заболевание встречается с частотой 1,15 случаев на 100 000 детей [1–3]. Основным клиническим проявлением лимфодемы является увеличение в объеме пораженной конечности в результате появления отека с последующим развитием фиброза и избыточного роста жировой

клетчатки. Однако в детском и подростковом возрасте лимфатический отек сложно диагностировать [4–6]. Другой проблемой своевременного лечения пациентов с лимфедемой остается позднее обращение. Это связано с отсутствием болевого синдрома и других явных клинических проявлений [7, 8]. Трудности выявления данной патологии также заключаются не только в выполнении методики МРТ, но и с подготовкой пациента к этому исследованию. Все эти проблемы значительно снижают полноценную диагностику у детей на ранних этапах развития болезни, до достижения возраста 6–7 лет [9–11].

В литературе представлены единичные работы по выполнению не прямой МР-лимфографии с контрастным усилением для диагностики лимфедемы [12–14].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель — оценить диагностическую эффективность метода не прямой магнитно-резонансной лимфографии при лимфедеме.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В клинике Педиатрического университета было обследовано 150 пациентов, средний возраст которых составил 13,5 лет, 68% девочек и 32% мальчиков. Все пациенты поступили для амбулаторного и стационарного лечения в хирургическое

отделение в связи с наличием лимфедемы. Из них 87 пациентов (58%) с двусторонним поражением и 63 пациента (42%) — с односторонним поражением нижних конечностей. Была проанализирована группа волонтеров из 21 условно здорового человека (в возрасте от 18 до 25 лет). У волонтеров была проведена оценка накопления контрастного препарата в лимфатических узлах. Соотношение по полу было сопоставимо с группой обследуемых пациентов.

Исследования пациентов проводились на аппарате Philips с напряженностью магнитного поля в 1,5 Тесла. Параметры сканирования представлены в таблице 1.

Использование последовательностей с тонкими срезами позволяет выполнить мультипланарную реконструкцию без потери качества изображения.

Исследование включало в себя использование нативного сканирования с выполнением трех протоколов (табл. 1) и динамический сбор данных после введения контрастного препарата в интервалах 10–25, 50–65, 90–105 минут. Это позволяет оценить состояние лимфоколлекторов и выполнить динамическое контрастирование лимфатических узлов. Для получения постконтрастных изображений применяли последовательность T1 FFE в тех же параметрах и позиционировании, что и до контрастирования. Обследуемая область включала в себя зону малого таза и нижние конечности с захватом стоп.

Таблица 1

Параметры основных протоколов сканирования

Table 1

Parameters of the main scanning protocols

Элементы исследования / Elements of the study	T1 FFE Incoherent Gradient Echo (RF spoiled)	T2 TSE TurboSpin Echo	Stir Short Inversion Recovery
Толщина срезов, мм / Thickness of slices, mm	2	2	2
Шаг срезов, мм / Step of cuts, mm	1	1	1
Реконструкция срезов, мм / Reconstruction of sections, mm	0,5	0,5	0,5
Плоскость сканирования / Scanning plane	Коронарная / Coronary	Коронарная / Coronary	Коронарная / Coronary
TR/TE, мс	0,6/20	210/2	80/8,3
Угол опрокидывания / Tipping angle	15°	90°	90°
Поле обзора, мм / Field of view, mm	950×375	950×375	950×375
Количество срезов / Number of slices	200	200	200
Тип сканирования / Scantype	Body multistacks (3 stack)	Body multistacks (3 stack)	Body multistacks (3 stack)
Время сканирования, минут / Scantime, minutes	10	10	7

Техника контрастирования при МР-лимфографии состояла из нескольких этапов.

Первый этап: введение лидокаина внутривенно в каждый межпальцевой промежуток на глубину не более 2 мм, в объеме до 0,1 мл, для получения местного обезболивания.

Второй этап: после наступления анестезирующего эффекта введение парамагнитного контрастного препарата, паравазально в межпальцевые промежутки стоп нижних конечностей, по центру этих промежутков в направлении к тылу на глубину от 5 до 8 мм в объеме от 0,1 до 0,2 мл, в каждый межпальцевой промежуток, общим объемом до 5 мл.

Третий этап: выполнение серии постконтрастных сканов на 10–25, 50–65, 90–105-й минутах, подготовка и укладка пациента не меняется [15].

Группой экспертов был проведен анализ полученных изображений и реконструкции согласно метрике DMOS. Для анализа и оценки качества изображений магнитно-резонансной лимфографии были выбраны независимые наблюдатели в количестве трех врачей-рентгенологов из многопрофильных педиатрических стационаров [16]. Репрезентативность выборки составила 30 исследований. Для оптимизации снимков наблюдателю предоставлялась возможность самостоятельно подобрать соответствующую ширину окна (WW) и уровни окна (WL). Оценка производилась по рабочей шкале качества, где общие изображения градировались от «очень плохого» до «очень хорошего». Эксперти-

руемые снимки получили высокую оценку во всех тестируемых сканах.

Статистическая обработка полученных данных была выполнена с использованием программного приложения пакета Jamovi 2.3.28. Данные оценивались по балльной системе с помощью коэффициента внутриклассовой корреляции. Сравнение количественных показателей выполнялось с помощью парного критерия Стьюдента. Для оценки наличия и тесноты связи между результатами измерения различными способами использовался корреляционный анализ. При расчетах был установлен уровень значимости $p=0,05$. Оценка качества изображения проводилась согласно международному нормативному документу ITU-R BT.500-11 [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным магнитно-резонансной лимфографии на нативных изображениях были выявлены изменения длины окружности нижних конечностей. В местах увеличения длины окружности отмечались утолщение кожи и подкожно-жировой клетчатки с фиброзными изменениями, а также участки депонирования лимфы, которые выявлялись в виде жидкостных прослоек в жировой клетчатке (рис. 1–4).

В нашем исследовании были выявлены различные типы оттока лимфатической жидкости (рис. 5, а–г).

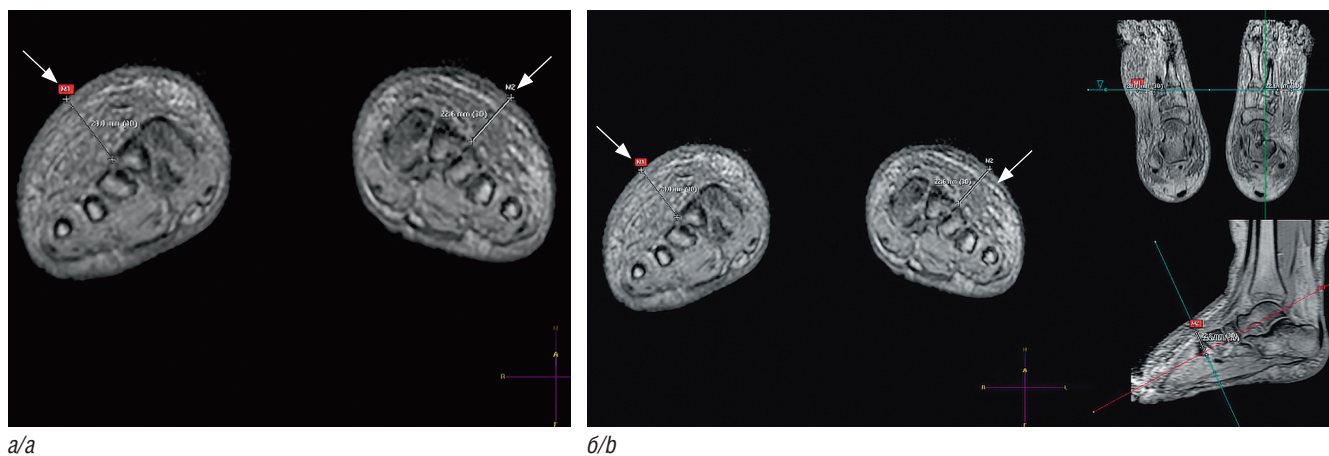


Рис. 1. Фрагмент области сканирования (стопа), протокол T1 FFE: а — аксиальная проекция стопы; б — мультипланарная реконструкция в трех взаимно перпендикулярных проекциях. Измерение толщины подкожно-жирового слоя (стрелка) проведено в аксиальной плоскости плюсны (а). У пациента положительный симптом Стеммера (кожу на тыле II пальца стопы невозможно собрать в складку), который встречается только при наличии отека конечности

Fig. 1. Fragment of scan area (foot), T1 FFE protocol: а — axial projection of the foot; б — multiplanar reconstruction in three mutually perpendicular projections. Measurement of the thickness of the subcutaneous fat layer (arrow) was carried out in the axial plane of the metatarsus (а). The patient has a positive Stemmer's sign (the skin on the dorsum of the second toe cannot be gathered into a fold), which occurs only in the presence of limb edema

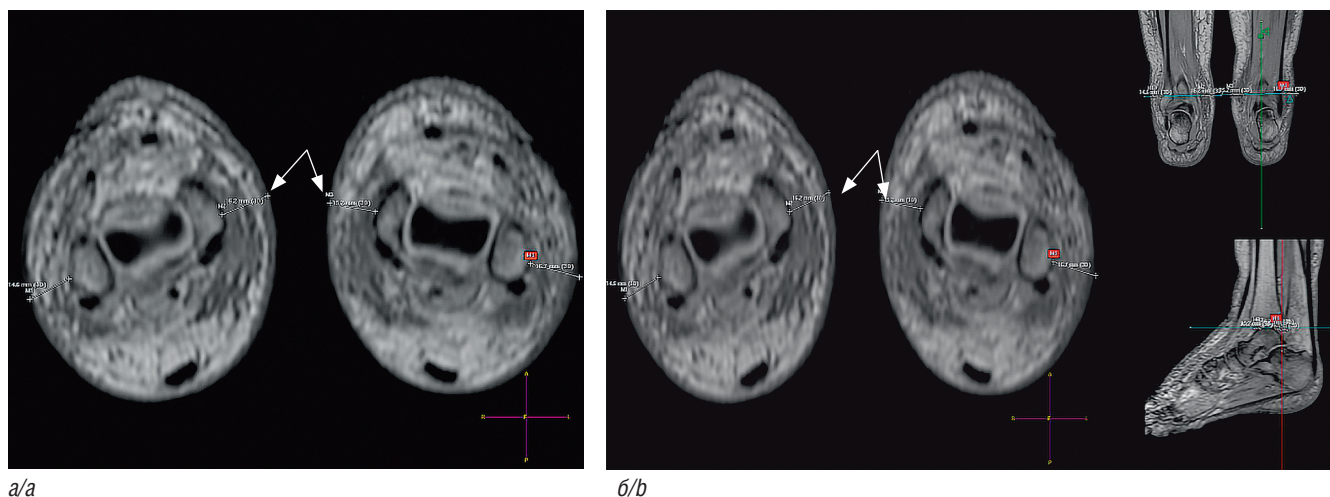


Рис. 2. Фрагмент области сканирования (голеностопный сустав). Протокол T1 FFE: *a* — аксиальная проекция; *б* — мультипланарная реконструкция в трех взаимно перпендикулярных проекциях. Выполняли измерения толщины подкожно-жировой клетчатки на уровне наружной и внутренней лодыжки ввиду низкой анатомической вариабельности (*a*, *б*). Утолщение подкожно-жирового слоя на данном уровне возможно определить только при наличии отека нижних конечностей (стрелки)

Fig. 2. Fragment of the scanning area (ankle joint). T1 FFE protocol: *a* — axial projection; *b* — multiplanar reconstruction in three mutually perpendicular projections. Measurements of subcutaneous fat thickness were performed at the level of the outer and inner ankle due to low anatomical variability (*a*, *b*). Thickening of the subcutaneous fat layer at this level can be determined only in the presence of lower limb edema (arrows)

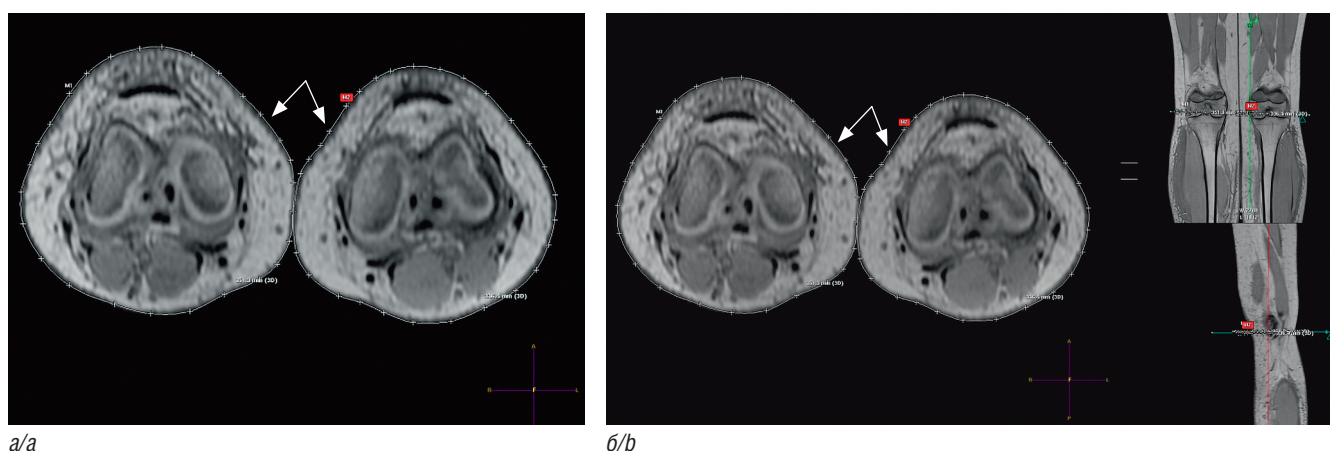


Рис. 3. Фрагмент области сканирования (коленный сустав). Протокол T1 FFE: *a* — аксиальная проекция; *б* — мультипланарная реконструкция. Представлены измерения длины окружности (указано стрелками)

Fig. 3. Fragment of the scanning area (knee joint). T1 FFE protocol: *a* — axial projection; *b* — multiplanar reconstruction. Measurements of the circumference are shown (indicated by arrows).

При тяжелых формах лимфедемы были выявлены изменения в виде экстравазации парамагнитного контрастного препарата в жировую клетчатку с признаками сохранения лимфоцеле в месте введения контрастного препарата во все фазы постконтрастного исследования (рис. 5, *a*, *б*). В особенности эти изменения убедительно выявлялись в нижних конечностях при использовании последовательности T1 FFE в коронарной проекции на 90-й минуте. Характерными признаками было поражение левой нижней конечности и гениталий. Экстравазация парамагнитного контрастного

препарата указана стрелкой в области тыла стопы и лодыжки левой конечности, а паравазальная — вдоль магистральных лимфоколлекторов указана наконечниками стрелок (рис. 5 *a*, *б*).

Редкая форма оттока в виде периферического типа по поверхностным лимфоколлекторам представлена на рисунке 5, *в*. У пациента с двусторонней лимфедемой, на отсроченном сканировании после введения контрастного вещества (60-я минута), отсутствуют магистральные лимфатические коллекторы. Отток представлен только по периферическим сосудам в подкожно-жировой клетчатке.

Рис. 4. Пациент с лимфедемой левой нижней конечности. Изображение нижних конечностей в коронарной проекции, протокол T2 TSE: *a* — стрелками указаны области скопления лимфатической жидкости в левой нижней конечности; *б* — область всей зоны обследования (от малого таза до нижних конечностей, включая стопы)

Fig. 4. Patient with signs of lymphedema of the left lower limb. Image of the lower extremities in coronary projection, T2 TSE protocol: *a* — arrows indicate areas of lymphatic fluid accumulation in the left lower extremity; *b* — area of the entire examination zone (from the pelvis to the lower extremities, including the feet).



Рис. 5. Пациенты с лимфедемой правой нижней конечности. Коронарная проекция нижних конечностей. Магистральный тип оттока лимфы. Отсроченное сканирование на 60-й минуте. Постконтрастная T1 FFE последовательность (*a–г*)

Fig. 5. Patients with signs of lymphedema of the right lower limb. Coronary projection of the lower limbs. Magistral type of lymph drainage. Delayed scanning at the 60th minute. Post-contrast T1 FFE sequence (*a–d*)

В ряде случаев с тяжелой формой лимфедемы были выявлены изменения в виде окклюзии магистрального лимфатического коллектора с формированием блока (рис. 5, *г*). Отсроченное контрастирование

было выполнено на 90-й минуте. При этом отмечалось отсутствие накопления парамагнетика в проксимальном бедренном сегменте лимфатического коллектора и в подколенном и бедренном

лимфатических узлах (рис. 5, *г*, область обструкции указана стрелкой).

Оценка лимфатических узлов при динамическом контрастном исследовании позволяет выявить лимфатические узлы и оценить их форму, размеры, а также определить интенсивность накопления контрастного вещества и количественные характеристики.

На лимфограммах волонтеров без клинических проявлений лимфедемы была проведена оценка накопления контрастного препарата в лимфатических узлах. При отсутствии нарушения лимфодинамики парамагнитный контрастный препарат достигает лимфатических узлов на 20-й минуте от введения в межпальцевые промежутки стоп,

отмечалось максимальное накопление препарата в раннюю фазу контрастирования (рис. 6, *а-г*, рис. 7).

При нарушении лимфодинамики у пациентов с разной формой лимфедемы отмечалось позднее накопление парамагнетика в отсроченную фазу и в позднюю отсроченную фазу контрастирования, что соответствовало 60-й и 90-й минутам (рис. 8, *а-г*, рис. 9, рис. 10, *а-г*, рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашей практике преобладал магистральный тип оттока по глубоким лимфоколлекторам

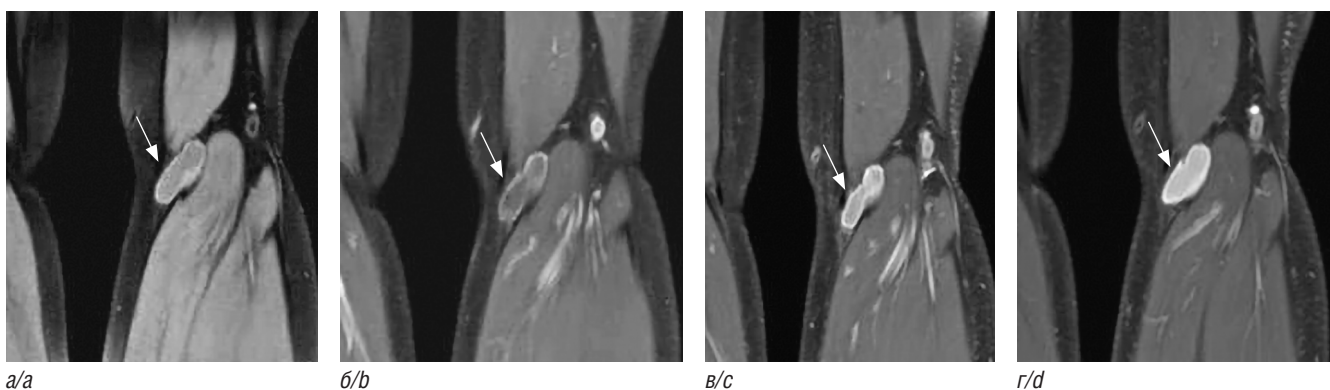


Рис. 6. Представлен фрагмент области сканирования (подколенная область, подколенный лимфатический узел), протокол T1 FFE: *а* — нативное сканирование; *б, в, г* — после введения контрастного вещества на 20-, 60-, 90-й минутах соответственно. Накопление контрастного препарата в лимфатическом узле подколенной области без нарушения лимфодинамики (стрелки)

Fig. 6. A fragment of the scanning area (popliteal region, popliteal lymph node) is presented, T1 FFE protocol: *a* — native scanning; *b, c, d* — after contrast agent injection at 20-, 60-, 90-minutes, respectively. Contrast agent accumulation in the lymph node of the popliteal region without lymphodynamic disturbance (arrows)

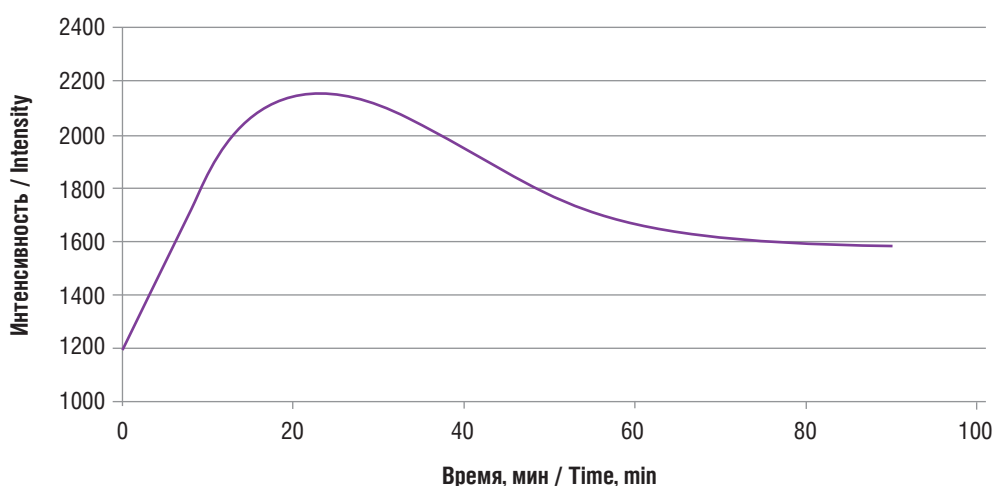


Рис. 7. Накопление контрастного препарата в лимфатическом узле без нарушения лимфодинамики имеет максимальный пик на 20-й минуте от введения контрастного вещества

Fig. 7. Accumulation of contrast agent in the lymph node without disruption of lymphodynamics has a maximum peak at 20 minutes from the administration of the contrast agent

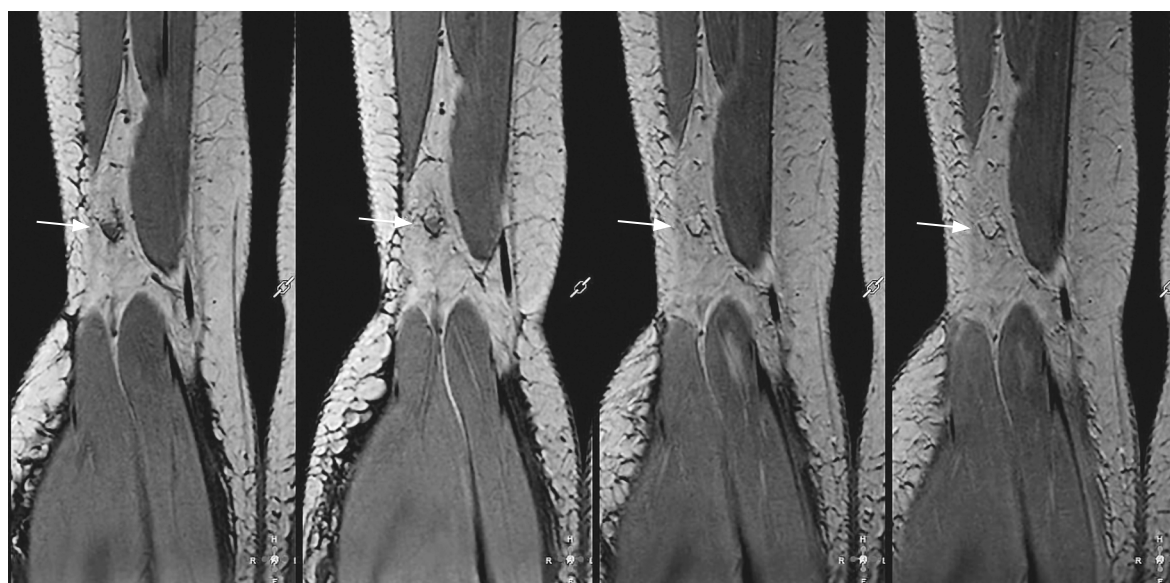


Рис. 8. Задержка накопления контрастного препарата в подколенном лимфатическом узле. Фрагмент области сканирования (подколенная область, подколенный лимфатический узел — стрелка). Протокол T1 FFE: *a* — нативное сканирование; *б, в, г* — после введения контрастного вещества на 20-, 60-, 90-й минутах соответственно

Fig. 8. Delay in accumulation of contrast agent in the popliteal lymph node. Fragment of the scanning area (popliteal region, popliteal lymph node — arrow). T1 FFE protocol: *a* — native scanning; *b, c, d* — after administration of contrast agent at 20, 60, 90 minutes, respectively

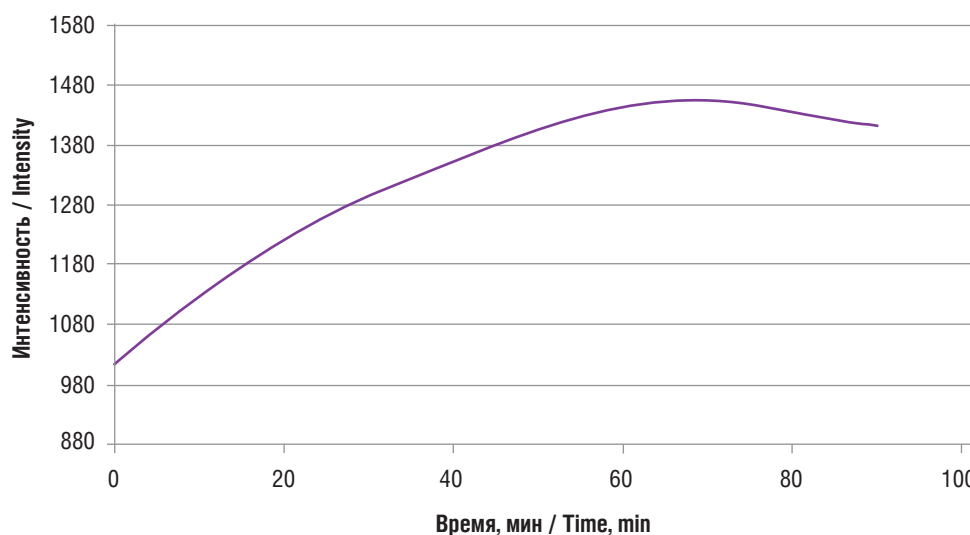


Рис. 9. Накопление контрастного препарата в лимфатическом узле с задержкой лимфодинамики имеет максимальное накопление контрастного вещества с плато в интервале 60–80 минут от начала введения контрастного вещества

Fig. 9. Contrast agent accumulation in a lymph node with delayed lymphodynamics a maximum accumulation of contrast agent with a plateau between 60–80 minutes from the start of contrast agent injection

у 112 пациентов (74,6%). Остальные пациенты распределились следующим образом: поверхностный тип оттока встречался у 13 пациентов (8,7%), окклюзия или посттравматическое повреждение лимфатического коллектора — у 7 пациентов (4,7%), аплазия лимфоколлекторов — у 3 пациентов (2%),

аномалия лимфатических узлов — у 15 пациентов (10%). При тяжелых формах лимфедемы отмечалась экстравазация парамагнитного контрастного препарата в жировую клетчатку и сохранялось лимфоцеле (место введения контрастного препарата по тыльной поверхности стопы) у 13 пациентов (8,6%).

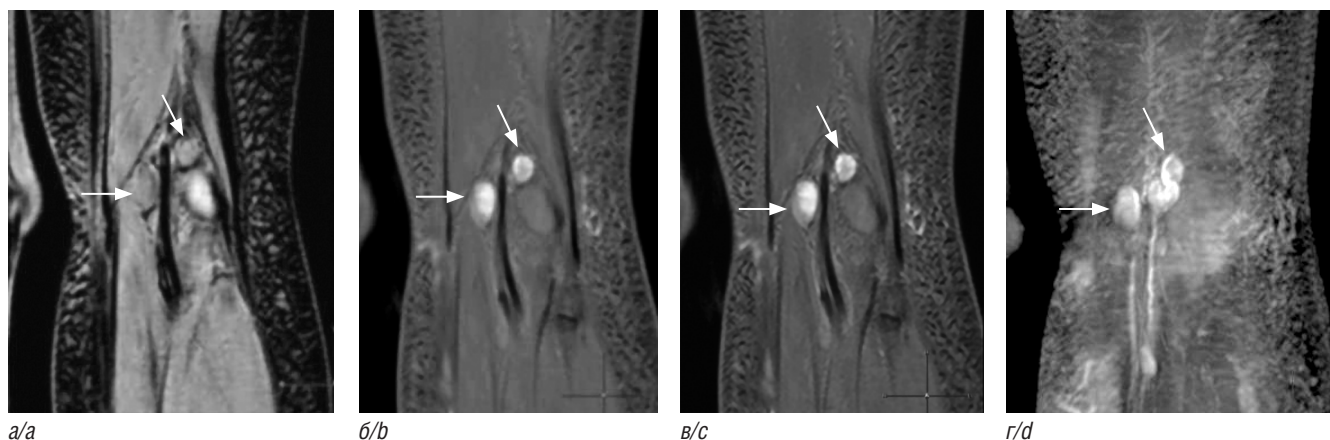


Рис. 10. Выраженная картина нарушения лимфодинамики. Задержка накопления контрастного препарата в подколенных лимфатических узлах. Представлен фрагмент области сканирования (подколенная область, подколенные лимфатические узлы — стрелки). Протокол T1 FFE: *a* — нативное сканирование; *b, c, d* — после введения контрастного вещества на 20-, 60-, 90-й минутах соответственно

Fig. 10. A significant visualization of lymphodynamic disorders. Delayed accumulation of contrast agent in popliteal lymph nodes. A fragment of the scanning area is presented (popliteal area, popliteal lymph nodes — arrows). T1 FFE protocol: *a* — native scanning; *b, c, d* — after contrast agent injection at 20, 60, 90 minutes respectively

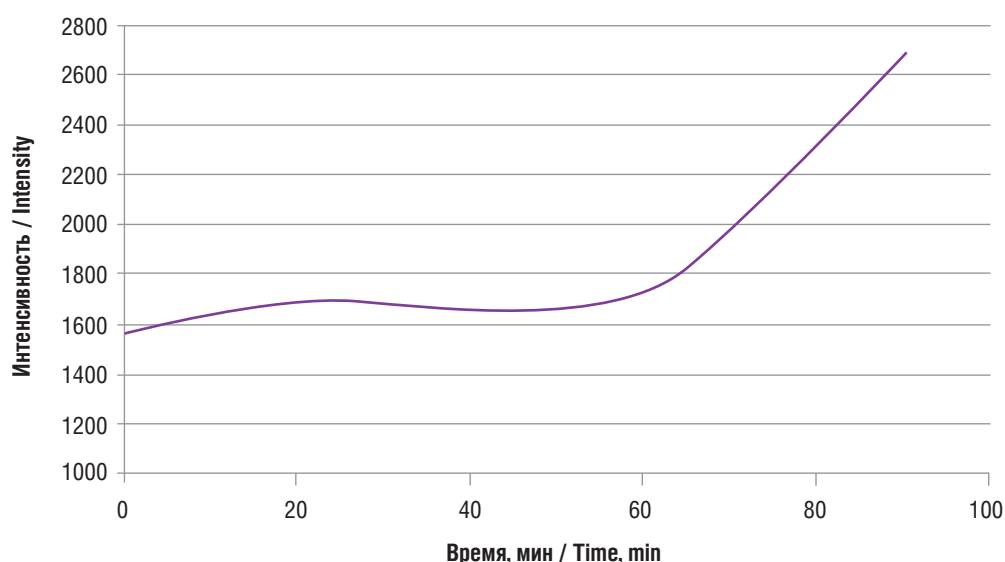


Рис. 11. График накопления контрастного препарата с задержкой лимфодинамики показывает длительный интервал отсутствия накопления контрастного препарата в лимфатическом узле в раннюю и отсроченную фазы. Появление контрастного препарата в лимфоузле отмечается только в отсроченную фазу (90-я минута сканирования от введения контрастного препарата)

Fig. 11. The diagram of contrast agent accumulation with delayed lymphodynamics shows a long interval of no contrast agent accumulation in the lymph node in the early and prolonged phases. Appearance of contrast agent in the lymph node is registered only in the prolonged phase (90th minute of scanning from contrast agent administration)

Анализ результатов исследования лимфатических узлов различных групп показал, что на нативных изображениях можно определить степень поражения лимфатического узла (гиперплазия, гипоплазия и аплазия). На лимфограммах при отсутствии нарушения лимфодинамики парамагнитный контрастный препарат быстро достигает лимфатических узлов, контрастируя их. При наличии по-

ражения серия лимфограмм позволяет определить степень и тяжесть поражения. При наличии блока лимфатических коллекторов контрастирование лимфатических узлов отсутствует.

Таким образом, лимфедема — тяжелое прогрессирующее заболевание, имеющее малосимптомное течение и при позднем обращении приводящее к инвалидизирующим изменениям в виде фиброза

жировой клетчатки. Может быть визуализировано и оценено с помощью не прямой магнитно-резонансной лимфографии. Непрямая МР-лимфография с нативным и постконтрастным сканированием в динамике дает возможность исключить или выявить изменения лимфооттока с возможностью определения степени и уровня поражения лимфатического коллектора. Контрастные вещества в МР-диагностике лимфатической системы позволяют оценить функционирование лимфатических коллекторов и лимфатических узлов.

Введение методики не прямой магнитно-резонансной лимфографии в диагностический протокол исследования пациентов с лимфедемой у детей является перспективным.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of the patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smeltzer D.M., Stickler G.B., Schirger A. Primary lymphedema in children and adolescents: a follow-up study and review. *Pediatrics*. 1985;76(2):206–218.
2. Cemal Y., Pusic A., Mehrara B.J. Preventative measures for lymphedema: Separating fact from fiction. *J Am Coll Surg*. 2011;213(4):543–551. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2011.07.001.
3. Pereira de Godoy L.M., Pereira de Godoy Capeletto P., Pereira de Godoy J.M., de Fátima Guerreiro Godoy M. Cervical stimulation in the treatment of children with lymphedema of all four extremities: a case report and literature review. *Case Rep. Pediatr*. 2017;2017:9724524. DOI: 10.1155/2017/9724524.
4. Коненков В.И., Бородин Ю.И., Любарский М.С. Лимфология. Новосибирск: Манускрипт; 2012.
5. Godoy J.M., Sanchez A.P., Zucchi Libanore D., Guerreiro Godoy M de F. Adaptations in the treatment of congenital lymphedema centered on the quality of life. *Case Rep Med*. 2014;2014:456060. DOI: 10.1155/2014/456060.
6. Witte M.H., Witte C.L., Bernas M. The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema. Consensus Document of the International Society of Lymphology. 2020.
7. Johnson A.R., Fleishman A., Tran B.N.N. et al. Developing a lymphatic surgery program: a first-year review. *Plast Reconstr Surg*. 2019;144(6):975e–985e. DOI: 10.1097/PRS.0000000000006223.
8. Addiss D. et al. Best practice for the management of lymphoedema.UK: Published by Medical Education Partnership. 2006.
9. Бородин Ю.И., Любарский М.С., Морозов В.В. Руководство по клинической лимфологии. М.: МИА; 2010.
10. Апханова Т.В., Байтингер В.Ф., Летагин А.Ю., Нимаев В.В. и др. Лимфедема конечностей. Российские клинические рекомендации по диагностике и лечению лимфедемы конечностей. 2023.
11. Летагин А.Ю., Тулупов А.А., Савелов А.А., Автаева М.В., Коростышевская А.М., Сорокина К.Н. Использование МР-томографии для оценки лимфатической системы. Новосибирск; 2005.
12. Kayiran O., De La Cruz C., Tane K., Soran A. Lymphedema: From diagnosis to treatment. *Turk J Surg*. 2017;33(2):51–57.
13. Pinto P.S., Sirlin C.B., Andrade-Barreto O.A., Brown M.A., Mindelzun R.E., Mattrey R.F. Cisterna chyli at routine abdominal MR imaging: a normal anatomic structure in the retrocrural space. *Radiographics*. 2004;24(3):809–817. DOI: 10.1148/rg.243035086.
14. Recommendation ITU-R BT.500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. 2002.
15. Леванович В.В., Ялфимов А.Н., Канина Л.Я., Малёков Д.А., Бубнова Н.А., Купатадзе Д.Д., Набоков В.В. Патент № 2577766C1 Российская Федерация, МПК А61 В 5/055 (2006.01), А61К 49/06 (2006.01). Способ диагностики лимфедем конечностей: 2014144833/14А, заявление: 05.11.2014, опубликовано: 20.03.2016.
16. Lepcha D.C., Goyal B., Dogra A., Goyal V. Image super-resolution: a comprehensive review, recent trends, challenges and applications. *Information Fusion*. 2023;91:230–260. DOI: 10.1016/j.inffus.2022.10.007.

REFERENCES

1. Smeltzer D.M., Stickler G.B., Schirger A. Primary lymphedema in children and adolescents: a follow-up study and review. *Pediatrics*. 1985;76(2):206–218.
2. Cemal Y., Pusic A., Mehrara B.J. Preventative measures for lymphedema: Separating fact from fiction. *J Am Coll Surg*. 2011;213(4):543–551. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2011.07.001.
3. Pereira de Godoy L.M., Pereira de Godoy Capeletto P., Pereira de Godoy J.M., de Fátima Guerreiro Godoy M. Cervical stimulation in the treatment of children with lymphedema of all four extremities: a case report and literature review. *Case Rep. Pediatr*. 2017;2017:9724524. DOI: 10.1155/2017/9724524.
4. Kononkov V.I., Borodin Yu.I., Lyubarskiy M.S. *Lymphology*. Novosibirsk: Manuscript; 2012. (In Russian).
5. Godoy J.M., Sanchez A.P., Zucchi Libanore D., Guerreiro Godoy M de F. Adaptations in the treatment of congenital lymphedema centered on the quality of life. *Case Rep Med*. 2014;2014:456060. DOI: 10.1155/2014/456060.
6. Witte M.H., Witte C.L., Bernas M. The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema. Consensus Document of the International Society of Lymphology. 2020.
7. Johnson A.R., Fleishman A., Tran B.N.N. et al. Developing a lymphatic surgery program: a first-year review. *Plast Reconstr Surg*. 2019;144(6):975e–985e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000006223.
8. Addiss D. et al. Best practice for the management of lymphoedema. UK: Published by Medical Education Partnership. 2006.
9. Borodin Yu.I., Lyubarskiy M.S., Morozov V.V. *Handbook of Clinical Lymphology*. Moscow: MIA; 2010. (In Russian).
10. Apkhanova T.V., Baytinger V.F., Letyagin A.Yu., Nimayev V.V. i dr. Lymphedema of the extremities. *Rossiyskiye klinicheskiye rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu limfedemy konechnostey*. 2023. (In Russian).
11. Letyagin A.Yu., Tulupov A.A., Savelov A.A., Avtayeva M.V., Korostyshevskaya A.M., Sorokina K.N. Using MR tomography to assess the lymphatic system. Novosibirsk; 2005. (In Russian).
12. Kayıran O., De La Cruz C., Tane K., Soran A. Lymphedema: From diagnosis to treatment. *Turk J Surg*. 2017;33(2):51–57.
13. Pinto P.S., Sirlin C.B., Andrade-Barreto O.A., Brown M.A., Mindelzun R.E., Mattrey R.F. Cisterna chyli at routine abdominal MR imaging: a normal anatomic structure in the retrocrural space. *Radiographics*. 2004;24(3):809–817. DOI: 10.1148/rg.243035086.
14. Recommendation ITU-R BT.500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. 2002.
15. Levanovich V.V., Yal'fimov A.N., Kanina L.Ya., Malekov D.A., Bubnova N.A., Kupatadze D.D., Nabokov V.V. Patent № 2577766S1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61 V 5/055 (2006.01), A61K 49/06 (2006.01). Method for diagnosing lymphedema of the extremities: 2014144833/14A, zayavleniye: 05.11.2014, opublikovano: 20.03.2016. (In Russian).
16. Lepcha D.C., Goyal B., Dogra A., Goyal V. Image super-resolution: a comprehensive review, recent trends, challenges and applications. *Information Fusion*. 2023;91:230–260. DOI: 10.1016/j.inffus.2022.10.007.