



<https://doi.org/10.34883/PI.2023.9.4.009>



Алексеев С.А.✉¹, Троян В.Н.¹, Рукавицын О.А.¹, Троян Э.Р.²

¹ Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

² Центральный военный клинический госпиталь имени П.В. Мандрыка Минобороны России, Москва, Россия

Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография при неходжкинских лимфомах. Обзор литературы и собственный клинический опыт

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Алексеев С.А. – существенный вклад в замысел и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи; Троян В.Н. – пересмотр статьи в части значимого интеллектуального содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования; Рукавицын О.А. – пересмотр статьи в части значимого интеллектуального содержания; Троян Э.Р. – анализ и интерпретация данных.

Подана: 10.10.2023

Принята: 27.11.2023

Контакты: sergey-alexeev@outlook.com

Резюме

Данный литературный обзор посвящен анализу возможностей применения одного из современных доступных методов лучевой диагностики у пациентов с неходжкинскими лимфомами для оценки лечения и выявления рецидива заболевания. Это метод диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии всего тела (ДВ МРТ), который набирает популярность и является возможной альтернативой используемым традиционным методам, таким как КТ и ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ.

В обзоре обсуждаются не только преимущества метода, но также недостатки и подводные камни, с которыми приходится сталкиваться врачу-диагносту.

Ключевые слова: диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография, компьютерная томография, фтордезоксиглюкоза, неходжкинские лимфомы, позитронно-эмиссионная томография, измеряемый коэффициент диффузии

Alekseev S.¹, Troyan V.¹, Rukavitsyn O.¹, Troyan E.²

¹ Nikolay Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russia

² Mandryka Central Military Clinical Hospital Ministry of Defense, Moscow, Russia

Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging for Non-Hodgkin's Lymphomas. Literature Review and Own Clinical Experience

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Alekseev S. – significant contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, preparation of the article; Troyan V. – revision of the article in terms of significant intellectual content, final approval of the version of the article for publication; Rukavitsyn O. – revision of the article in terms of significant intellectual content; Troyan E. – data collection, analysis and interpretation article.

Submitted: 10.10.2023

Accepted: 27.11.2023

Contacts: sergey-alexeev@outlook.com

Abstract

This literature review is devoted to analyzing the possibilities of using one of the modern available methods of radiodiagnosis in patients with non-Hodgkin lymphoma to evaluate treatment and detect relapse of the disease. This is a whole-body diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWMRI) technique that is gaining popularity and is a possible alternative to current conventional techniques such as CT and 18F-FDG PET/CT. The review discusses not only the advantages of the method, but also the disadvantages and pitfalls that the diagnostician has to face.

Keywords: diffusion-weighted magnetic resonance imaging, computed tomography, fluorodeoxyglucose, non-Hodgkin's lymphoma, positron emission tomography, measured diffusion coefficient

Лимфопролиферативные заболевания составляют приблизительно 5–6% от всех злокачественных опухолей системы крови. При этом наибольшую часть (более двух третей) представляют неходжкинские лимфомы (НХЛ), а остальную часть занимает лимфома Ходжкина (ЛХ) [1, 3, 27].

Неходжкинские лимфомы включают в себя биологически гетерогенную группу злокачественных лимфопролиферативных заболеваний с варибельным клиническим течением и прогнозом [33]. Одним из основных факторов, влияющих на последующие выбор тактики лечения и прогноз болезни, является стадирование заболевания с помощью лучевой диагностики. Кроме этого, методики лучевой диагностики являются неотъемлемой частью планирования лучевой терапии и мониторинга оценки ответа на лечение у таких пациентов [11].

Используемая во всем мире система стадирования лимфопролиферативных заболеваний по Ann Arbor с модификацией Costwold (1971) основывается на локализации пораженных лимфоузлов и клинических проявлениях (Carbone и др. 1971) [7].



Для стадирования болезни активно используются несколько методов лучевой диагностики, таких как компьютерная томография (КТ) или позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, при которой используется $[18]F$ -фтор-2-дезоксиглюкоза (ПЭТ/КТ с 18^F -ФДГ) [1, 3], при этом наибольшую популярность приобрела ПЭТ/КТ с 18^F -ФДГ из-за своей эффективности.

Кроме того, для ПЭТ/КТ с 18^F -ФДГ разработана и активно используется шкала оценки ответа на лечение, так называемая Deauville scale [8, 9].

Как и любой из известных и применяемых специалистами лучевой диагностики методов, ПЭТ/КТ с 18^F -ФДГ также имеет ряд недостатков. Прежде всего – это лучевая нагрузка на пациентов, получаемая во время исследования, особенно у детей и подростков. Результаты исследований D. Brenner с соавт. (2001) и Mathews с соавт. (2013) показали, что избыточная лучевая нагрузка у пациентов детского и подросткового возраста может приводить к повышенному риску развития других злокачественных заболеваний в течение жизни [6, 23].

Другим недостатком, по некоторым данным, является то, что его чувствительность и специфичность варьируются в зависимости от гистологического подтипа лимфомы. Так, в своей работе G. Jerusalem с соавт. (2001) на примере 42 пациентов показал, что метод имеет наиболее высокие показатели чувствительности и специфичности у пациентов с фолликулярной лимфомой низкой степени злокачественности по сравнению с другими подтипами лимфомы [18].

Именно по этим причинам актуальным является поиск и внедрение в рутинную практику альтернативного метода лучевой диагностики, лишенного недостатков и обладающего достоинствами ПЭТ/КТ с 18^F -ФДГ. Таким методом может стать диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография (ДВ МРТ).

ДВ МРТ – метод магнитно-резонансной томографии, основанный на выявлении и оценке движения молекул воды. Движение молекул воды в биологических тканях происходит во внутриклеточном, внеклеточном пространстве и трансмембранно. В биологических тканях диффузия не является случайной, поскольку ткани структурированы. Клеточные мембраны, сосудистые структуры, аксональные цилиндры лимитируют (ограничивают) диффузию. Таким образом, биологические ткани разделены на отсеки. Кроме того, химическое взаимодействие молекул воды и макромолекул влияет на процесс диффузии [2, 4].

При наличии у пациента лимфопролиферативного заболевания броуновское движение молекул воды в опухолевой ткани ограничено из-за большого количества опухолевых клеток, что приводит к повышению интенсивности сигнала от нее на ДВ МРТ по сравнению с неизмененными тканями [28].

Используя этот принцип, ДВ МРТ может обнаруживать изменения, связанные с опухолевым процессом, которые не ограничиваются анатомической информацией, например вовлечение костного мозга в заболевание [5].

Важную роль в оценке и интерпретации исследования ДВ МРТ играет так называемый измеряемый коэффициент диффузии (ИКД). Данные Lin с соавт. (2010) при сравнении методов ДВ МРТ и ПЭТ/КТ до учета изменений параметра ИКД, но с использованием критерия размера очага поражения показали чувствительность и специфичность ДВ МРТ 90% и 94% соответственно. Последующие дополнительные визуальный анализ и измерение ИКД снизили чувствительность до 81%, при этом повысив специфичность до 100% [21].

Также в своей работе Dudek с соавт. (2008) показал, что вычисление измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) при ДВ МРТ может предоставить полезную информацию об ответе на лечение и уникальную прогностическую информацию об эффективности терапии [12].

В исследовании Lin с соавт. (2010) показано, что среднее значение ИКД ($\times 10^{-3}$ мм²/с) в областях с ограниченной диффузией составило 0,75 по сравнению с 1,6 в областях без ограничений. В публикации Wu с соавт. (2011) ИКД обратно коррелировал с максимальным стандартизованным значением накопления 18^F-ФДГ, что позволяет предположить, что эти параметры сопоставимы [21, 22, 33].

ДВ МРТ в сравнении с ПЭТ/КТ и КТ имеет ряд несомненных преимуществ, таких как отсутствие лучевой нагрузки на пациента, отсутствие необходимости использования рентгенконтрастных веществ, его доступность и низкая стоимость [2].

Несмотря на все перечисленные преимущества в ходе обзора были обнаружены публикации с противоречивыми данными о доказанных высоких показателях эффективности метода по сравнению с ПЭТ/КТ с 18^F-ФДГ. Так, например, в работах Lin и др. (2010), Stéphane и др. (2013) чувствительность ДВ МРТ составила 93% и 100% соответственно [21, 28].

При этом результаты работ van Ufford и др. (2011), а также Wu и др. (2011) кардинально отличались и показали всего 59% и 63% соответственно [31, 33].

Также в ходе обзора хотелось обратить внимание на подводные камни, с которыми приходится встречаться врачу-диагносту при использовании и интерпретации результатов ДВ МРТ.

Прежде всего это визуальные изменения, присущие ДВ МРТ, которые могут привести к ложноположительным результатам, например, ограниченная способность различать злокачественные и доброкачественные причины увеличения лимфатических узлов, особенно паховых и подмышечных, и высокая чувствительность к малым лимфатическим узлам с повышенным сигналом. Примером служит работа Jing Gu с соавт. (2011), в которой при сравнении результатов ДВ МРТ и ПЭТ/КТ с 18^F-ФДГ 17 пациентов с впервые выявленным и подтвержденным диагнозом злокачественной лимфомы, несмотря на общее увеличение истинно положительных результатов и уменьшение ложноотрицательных, было отмечено увеличение ложноотрицательных результатов вдвое – с 3% до 6% [16, 18, 32].

Кроме этого, могут оказывать влияние на оценку и интерпретацию результатов исследования анатомические и функциональные особенности.

Например, Le Bihan с соавт. (2006) и Nasu с соавт. (2006) высказывают мнение о том, что сердечные сокращения вызывают артефакты в средостении и в верхнем этаже брюшной полости, потому что ДВ МРТ чувствительна к движению, в результате эти артефакты могут привести к неправильной оценке и измерению ИКД в лимфоузлах этой области и в печени [20, 24].

Chen с соавт. (2012) подчеркивает, что при первичном стадировании лимфомы с помощью ДВ МРТ не всегда удастся выявить очаги поражения, расположенные близко к сердцу, поэтому дополнительные стандартные МР-последовательности тоже играют важную роль в оценке распространенности заболевания. Koh с соавт. (2006) в своей работе утверждает, что после терапии опухолям больших размеров зачастую требуется длительное время, прежде чем они покажут значимое изменение размеров. Следовательно, для оценки ответа на лечение только морфологической



и размерной оценки может быть недостаточно, а функциональные изменения, выявляемые с помощью ДВ МРТ, могут быть полезны. Также при анализе результатов ДВ МРТ, выполненных во время терапии пациента, важно учитывать возможные завышенные цифры ИКД, обусловленные сердечными сокращениями и дыхательными движениями, которые могут привести к ложноположительным результатам [10, 19, 25].

Что касается экстранодального поражения лимфомой, особый интерес вызывает селезенка и ее вовлечение в процесс, поскольку она имеет физиологически повышенный сигнал на изображениях ДВ МРТ, следовательно, объективная оценка ее потенциального вовлечения в заболевание может быть затруднена. Lin с соавт. (2010), проанализировав результаты ДВ МРТ 15 пациентов, получили вывод о том, что при оценке поражения селезенки необходимо учитывать и использовать другие МР-последовательности [21].

Другие органы и структуры, такие как надпочечники, слюнные железы, яичники, яички, предстательная железа, почки, стенки желудка и эндометрий, на изображениях ДВ МРТ также имеют повышенный сигнал, что может привести к получению ложноположительных результатов оценки исследования [30].

Особое место при оценке распространенности заболевания занимает костный мозг. ДВ МРТ играет неотъемлемую роль в обнаружении и характеристике поражений костного мозга, в планировании биопсии или хирургического вмешательства, а также в последующем наблюдении после лечения.

Для оценки результатов ДВ МРТ в костном мозге необходимо знать его нормальный состав, распределение, изменения, которые происходят с возрастом, а также факторы, влияющие на эти изменения.

Например, красный костный мозг имеет неоднородный сигнал на разных последовательностях ДВ МРТ, поэтому это необходимо учитывать во избежание ошибочной интерпретации результатов [15, 17].

Как утверждают Ballon с соавт. (2004), Padhani с соавт. (2011), у пациентов с лимфомой терапия может вызывать изменения интенсивности сигнала костного мозга на изображениях с ДВ МРТ – в процессе химиотерапии интенсивность сигнала снижается, а использование во время лечения факторов роста стимулирует костный мозг, что приводит к увеличению интенсивности сигнала [4, 14, 25].

Ошибки интерпретации изменений костного мозга также могут быть вызваны наличием доброкачественных образований, гемангиомами или, например, остеонекротическими изменениями.

При наличии возможных остеонекротических изменений врачи лучевой диагностики должны понимать и учитывать то, что это может быть обусловлено возможным осложнением, вызванным особенностями лечения, например, использованием кортикостероидов или трансплантацией стволовых клеток [13, 26, 29].

Собственное клиническое наблюдение

Пациент К., 20 лет. В мае 2023 г. отметил увеличение лимфоузла шеи слева. По данным флюорографии органов грудной клетки от июня 2023 г. выявлено расширение средостения за счет возможного увеличения лимфатических узлов. Заподозрена лимфома Ходжкина. Далее выполнено КТ-исследование органов грудной клетки, по результатам которого отмечено наличие очагов в легких и увеличения внутригрудных

лимфоузлов и шейных лимфоузлов в зоне сканирования. В июле 2023 г. выполнена эксцизионная биопсия шейного лимфоузла слева. Гистологическое исследование биоптата лимфоузла – признаки лимфомы Ходжкина. В анализе крови признаки нейтрофильного лейкоцитоза. В биохимическом анализе крови гиперфибриногенемия. Диагностирована лимфома Ходжкина. За период госпитализации до начала химиотерапии повышение температуры тела до 38 °С, потеря массы тела на 4 кг за 2 месяца. Гистологическое исследование: морфологическая картина, с учетом результатов иммуногистохимического исследования, классической лимфомы Ходжкина, нодулярный склероз II типа. Выполнены ПЭТ/КТ-исследование, также ДВ МРТ всего тела, по результатам которых выявлены множественные увеличенные лимфоузлы шеи, средостения и брюшной полости. При сравнении результатов исследования на ДВ МР-изображениях отчетливо прослеживается повышенный физиологический МР-сигнал от вещества кости, тазовых и паховых лимфоузлов, селезенки, что может быть ошибочно расценено как поражение лимфомой (рис. 1).



Рис. 1. А – ПЭТ/КТ-исследование всего тела. 3D-реконструкция. Метаболически активные шейные, средостенные лимфоузлы (отмечены стрелками); В – ДВ МРТ-исследование всего тела. 3D-реконструкция. Патологически измененные шейные, средостенные лимфоузлы (отмечены черными стрелками), тазовые и паховые лимфоузлы с физиологическим повышенным МР-сигналом (отмечены красными стрелками), физиологический повышенный МР-сигнал от вещества кости (отмечены красными звездочками), повышенный физиологический сигнал от селезенки

Fig. 1. A – PET/CT examination of the whole body. 3D-reconstruction. Metabolically active cervical, mediastinal lymph nodes (marked with arrows); B – DV MRI examination of the whole body. 3D reconstruction. Pathologically altered cervical, mediastinal lymph nodes (marked with black arrows), pelvic and inguinal lymph nodes with a physiological increased MR signal (marked with red arrows), a physiological increased MR signal from the bone substance (marked with red asterisks), an increased physiological signal from the spleen

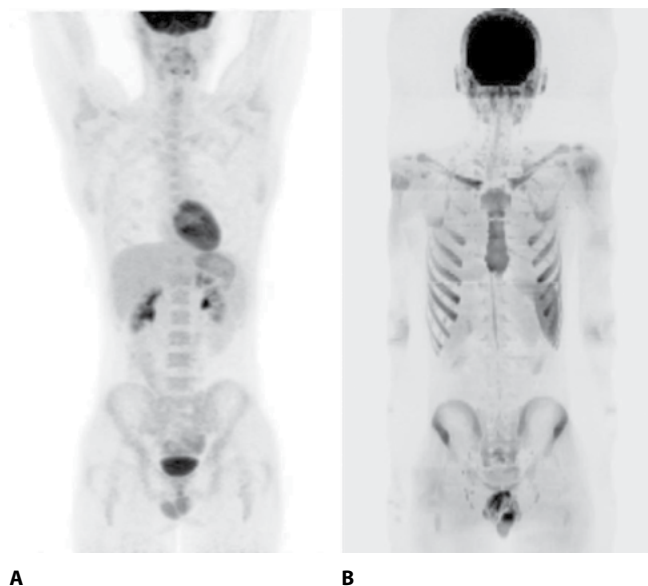


Рис. 2. А – ПЭТ/КТ-исследование всего тела. 3D-реконструкция. Регресс метаболически активных лимфоузлов. Полный ответ на лечение; В – ДВ МРТ-исследование всего тела. 3D-реконструкция. Отсутствие патологически измененных лимфоузлов. Сохраняется повышенный физиологический МР-сигнал от селезенки и вещества кости
Fig. 2. A – PET/CT examination of the whole body. 3D reconstruction. Regression of metabolically active lymph nodes. Complete response to treatment; B – DV MRI examination of the whole body. 3D reconstruction. Absence of pathologically altered lymph nodes. There is an increased physiological MR signal from the spleen and bone substance

Пациенту установлен диагноз: лимфома Ходжкина, нодулярный склероз второго типа с поражением легких, лимфоузлов средостения, шейных, надключичных, ворот печени. С июля по октябрь 2023 г. проведены 4 цикла химиотерапии.

Далее повторно выполнены ПЭТ/КТ и ДВ МРТ для оценки динамики (рис. 2). При сравнении полученных результатов отмечено, что оба метода не выявили патологических очагов, на основании чего у пациента был констатирован полный ответ на лечение.

Следует отметить, что при повторном ДВ МРТ у пациента сохраняется повышенный физиологический МР-сигнал от вещества кости и от селезенки, что может вызывать трудности при объективной оценке ответа на лечение.

В настоящий момент пациент выписан и наблюдается по месту жительства.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя и сравнивая результаты собственных исследований и резюмируя проведенный обзор литературы, с уверенностью можно сказать, что метод ДВ МРТ имеет большой потенциал и является наиболее привлекательным для диагностики пациентов с лимфопролиферативными заболеваниями на разных этапах, включая первичное стадирование и оценку ответа на лечение.

Методика уже используется во многих областях, однако ее эффективность для выявления и оценки поражения костного мозга у пациентов с лимфомой во время и после лечения по-прежнему вызывает сложность, поскольку зачастую у пациентов с первичным заболеванием объективная оценка распространенности процесса вызывает затруднения из-за наличия и сложности дифференцировки патологического и физиологического МР-сигнала от лимфоузлов или вещества кости.

Роль ДВ МРТ все еще остается спорной как для оценки поражений селезенки, поскольку она имеет физиологический повышенный сигнал, так и для оценки лимфатических узлов в средостении из-за артефактов, связанных с сердечными сокращениями и дыхательными движениями.

При всем перечисленном метод является отличной потенциальной альтернативой ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, главным образом за счет отсутствия ионизирующего излучения на пациента, имеет неоспоримые преимущества по сравнению с другими, но также имеет явные ограничения и трудности, требующие дальнейших исследований.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Rukavitsyn O., Troyan V., Kryukov E. *Radiation diagnostics for diseases of the blood system*. Moscow: Limited Liability Company Publishing Group "GEOTAR-Media", 2021. 224 p. (in Russian)
2. Karelskaya N., Karmazanovsky G. Whole body diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*. 2010;8:57–60. (in Russian)
3. Ballon Douglas. Imaging Therapeutic Response in Human Bone Marrow Using Rapid Whole-Body MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2004;52(6):1234–38.
4. De Bazelaire Cédric, Eric de Kerviler. From Multislice CT to Whole-Body Biomarker Imaging in Lymphoma Patients. *European Radiology*. 2011;21(3):555–58.
5. Brenner D., Elliston C., Hall E., Berdon W. Estimated Risks of Radiation-Induced Fatal Cancer from Pediatric CT. *AJR. American journal of roentgenology* 2001;176(2):289–96.
6. Carbone P.P. Report of the Committee on Hodgkin's Disease Staging Classification. *Cancer Research* 1971;31(11):1860–61.
7. Cheson Bruce D. Staging and Response Assessment in Lymphomas: The New Lugano Classification. *Chinese Clinical Oncology*. 2015;4(1):5.
8. Cheson Bruce D., Richard I. Fisher, Sally F. Barrington, Franco Cavalli, Lawrence H. Schwartz, Emanuele Zucca, T. Andrew Lister. Recommendations for Initial Evaluation, Staging, and Response Assessment of Hodgkin and Non-Hodgkin Lymphoma: The Lugano Classification. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*. 2014;32(27):3059–68.
9. Chen Yunbin, Jing Zhong, Hui Wu, Ningbin Chen. The Clinical Application of Whole-Body Diffusion-Weighted Imaging in the Early Assessment of Chemotherapeutic Effects in Lymphoma: The Initial Experience. *Magnetic Resonance Imaging*. 2012;30(2):165–70.
10. Connors Joseph M. State-of-the-Art Therapeutics: Hodgkin's Lymphoma. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*. 2005;23(26):6400–6408.
11. Dudeck Oliver. Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging Allows Monitoring of Anticancer Treatment Effects in Patients with Soft-Tissue Sarcomas. *Journal of magnetic resonance imaging: JMIR*. 2008;27(5):1109–13.
12. Eissa Lamy, Ahmed Abdel Khalek Abdel Razek, Eman Helmy. Arterial Spin Labeling and Diffusion-Weighted MR Imaging: Utility in Differentiating Idiopathic Orbital Inflammatory Pseudotumor from Orbital Lymphoma. *Clinical Imaging*. 2021;71:63–68.
13. Eraky Akram M. Role of Advanced MR Imaging in Diagnosis of Neurological Malignancies: Current Status and Future Perspective. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2023;22(3):73.
14. Giraudo Chiara. Diagnostic Value of PET/MR with DWI for Burkitt Lymphoma. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*. 2021;11(10):1867.
15. Gu Jing. Whole-Body Diffusion-Weighted Imaging: The Added Value to Whole-Body MRI at Initial Diagnosis of Lymphoma. *American Journal of Roentgenology*. 2011;197(3):384–91.
16. Hwang Sinchun, David M. Panicek. Magnetic Resonance Imaging of Bone Marrow in Oncology, Part 2. *Skeletal Radiology*. 2007;36(11):1017–27.
17. Jerusalem G. Positron Emission Tomography (PET) with ^{18}F -Fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG) for the Staging of Low-Grade Non-Hodgkin's Lymphoma (NHL). *Annals of Oncology: Official Journal of the European Society for Medical Oncology*. 2001;12(6):825–30.
18. Koh D-M., Padhani A.R. Diffusion-Weighted MRI: A New Functional Clinical Technique for Tumour Imaging. *The British Journal of Radiology*. 2006;79(944):633–35.
19. Le Bihan, Denis, Cyril Poupon, Alexis Amadon, Franck Lethimonnier. Artifacts and Pitfalls in Diffusion MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2006;24(3):478–88.
20. Lin Chieh. Whole-Body Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging with Apparent Diffusion Coefficient Mapping for Staging Patients with Diffuse Large B-Cell Lymphoma. *European Radiology*. 2010;20(8):2027–38.
21. Liu Yu, Yuanjun Wang, Pingzhong Wang, Qiang Yu. A Retrospective Study to Evaluate the CT and MR Imaging Findings of Non-Hodgkin's Lymphoma Affecting the Jaw Bones. *Oral Radiology*. 2022;38(4):509–16.
22. Mathews John D. Cancer Risk in 680,000 People Exposed to Computed Tomography Scans in Childhood or Adolescence: Data Linkage Study of 11 Million Australians. *BMJ (Clinical research ed.)*. 2013;346:f2360.



23. Nasu Katsuhiko. Measurement of the Apparent Diffusion Coefficient in the Liver: Is It a Reliable Index for Hepatic Disease Diagnosis? *Radiation Medicine*. 2006;24(6):438–44.
24. Padhani Anwar R., Dow-Mu Koh, David J. Collins. Whole-Body Diffusion-Weighted MR Imaging in Cancer: Current Status and Research Directions. *Radiology*. 2011;261(3):700–718.
25. Sharma S. Osteonecrosis in Children after Allogeneic Hematopoietic Cell Transplantation: Study of Prevalence, Risk Factors and Longitudinal Changes Using MR Imaging. *Bone Marrow Transplantation*. 2012;47(8):1067–74.
26. Siegel Rebecca L., Kimberly D. Miller, Nikita Sandeep Wagle, Ahmedin Jemal. Cancer Statistics, 2023. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2023;73(1):17–48.
27. Stéphane Velasco. Comparison of PET-CT and Magnetic Resonance Diffusion Weighted Imaging with Body Suppression (DWIBS) for Initial Staging of Malignant Lymphomas. *European Journal of Radiology*. 2013;82(11):2011–17.
28. Thuy Tran Thi Mai. Role of Diffusion-Weighted MRI in Differentiation between Benign and Malignant Anterior Mediastinal Masses. *Frontiers in Oncology*. 2022;12:985735.
29. Toledano-Massiah Sarah. Whole-Body Diffusion-Weighted Imaging in Hodgkin Lymphoma and Diffuse Large B-Cell Lymphoma. *RadioGraphics*. 2015;35(3):747–64.
30. Van Ufford, Henriëtte M.E. Quarles. Newly Diagnosed Lymphoma: Initial Results with Whole-Body T1-Weighted, STIR, and Diffusion-Weighted MRI Compared with 18F-FDG PET/CT. *AJR. American journal of roentgenology*. 2011;196(3):662–69.
31. Winzer Robert. Diffusion-Weighted MRI for Initial Staging in Hodgkin's Lymphoma: Comparison with FDG PET. *European Journal of Radiology*. 2020;123:108775.
32. Wu Xingchen. Diffusion-Weighted MRI in Early Chemotherapy Response Evaluation of Patients with Diffuse Large B-Cell Lymphoma – a Pilot Study: Comparison with 2-Deoxy-2-Fluoro- D-Glucose-Positron Emission Tomography/Computed Tomography. *NMR in biomedicine*. 2011;24(10):1181–90.