

Получена: 9 августа 2018 / Принята: 15 сентября 2018 / Опубликовано online: 31 декабря 2018

УДК 616-073.756.8

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Мадина Р. Мадиева ¹, <https://orcid.org/0000-0001-6431-9713>**Данияр Т. Раисов** ¹, <http://orcid.org/0000-0002-3872-1263>**Анаркуль Г. Куанышева** ¹, <http://orcid.org/0000-0002-6194-1029>**Александр В. Рахимбеков** ¹, <https://orcid.org/0000-0003-3894-2397>**Мадина Н. Байзакова** ¹, <https://orcid.org/0000-0002-2246-1866>**Айгерим К. Тусупжанова** ¹, <https://orcid.org/0000-0002-1606-643X>**Кайрат Альмисаев** ¹, <https://orcid.org/0000-0003-4661-6110>¹ Кафедра лучевой диагностики и ядерной медицины, Государственный медицинский университет города Семей, г. Семей, Республика Казахстан.

Магнитно-резонансная томография - метод исследования, основанный на получении изображения тканей и органов при помощи электромагнитных волн. К достоинствам магнитно-резонансной томографии относятся высокая контрастность мягкотканых структур, связочного аппарата, тканей головного и спинного мозга, отсутствие лучевой нагрузки. Магнитно-резонансная томография позволяет проводить исследование в любых плоскостях с учетом анатомических особенностей тела пациента, а при необходимости – получать трехмерные изображения для точной оценки взаиморасположения различных органов и тканей. Начиная с конца 90-х годов прошлого тысячелетия, магнитно-резонансная томография прочно вошла в арсенал врачей любой специальности. В данной статье показаны основные вехи и этапы развития магнитно-резонансной томографии, становления магнитно-резонансной томографии как диагностического метода - от нечто загадочного и таинственного до рутинного метода, который используется постоянно в различных медицинских учреждениях по всему миру. Магнитно-резонансная томография постоянно развивается и совершенствуется, разрабатываются новые импульсные последовательности, МР-катушки, проводится множество различных научных исследований. Авторы данной статьи надеются, что информация, изложенная в данной работе, будет интересна как студентам, так и практикующим врачам.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, диффузно-взвешенные изображения, трактография, магнитно-резонансная спектроскопия, магнитно-резонансная маммография.

Summary

HISTORY AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING

Madina R. Madiyeva ¹, <https://orcid.org/0000-0001-6431-9713>**Daniyar T. Raissov** ¹, <http://orcid.org/0000-0002-3872-1263>**Anargul G. Kuanysheva** ¹, <http://orcid.org/0000-0002-6194-1029>**Alexandr V. Rakhimbekov** ¹, <https://orcid.org/0000-0003-3894-2397>**Madina N. Baizakova** ¹, <https://orcid.org/0000-0002-2246-1866>**Aigerim K. Tussupzhanova** ¹, <https://orcid.org/0000-0002-1606-643X>**Kairat Almisaev** ¹, <https://orcid.org/0000-0003-4661-6110>¹ Department of Radiology and Nuclear Medicine, Semey State Medical University, Semey, Republic of Kazakhstan

Magnetic resonance imaging is a research method based on obtaining images of tissues and organs using electromagnetic waves. The advantages of magnetic resonance imaging include a high contrast of soft tissue structures, ligaments, brain and spinal cord tissues, and the absence of radiation exposure. Magnetic resonance imaging allows you to conduct research in any planes, taking into account the anatomical features of the patient's body, and, if necessary, to obtain three-dimensional images for an accurate assessment of the relative positions of various organs and tissues. Since the end of the 90s of the last millennium, magnetic resonance imaging has been firmly established in the arsenal of doctors of any specialty. This article shows the main milestones and stages of development of magnetic resonance imaging, the emergence of magnetic resonance imaging as a diagnostic method - from something mysterious to the routine method that is used continuously in various medical institutions around the world. Magnetic resonance imaging is constantly being developed and improved, new impulse sequences, coils are being developed, and many different scientific studies are being carried out. The authors of this article hope that the information presented in this work will be of interest to both students and practitioners.

Keywords: magnetic resonance imaging, diffuse-weighted images, tractography, magnetic resonance spectroscopy, magnetic resonance mammography.

Түйіндеме

МАГНИТТИ-РЕЗОНАНСТЫ ТОМОГРАФИЯНЫҢ ДАМУ ТАРИХЫ МЕН БОЛАШАҒЫ

Мадина Р. Мадиева ¹, <https://orcid.org/0000-0001-6431-9713>

Данияр Т. Раисов ¹, <http://orcid.org/0000-0002-3872-1263>

Анаркуль Г. Куанышева ¹, <http://orcid.org/0000-0002-6194-1029>

Александр В. Рахимбеков ¹, <https://orcid.org/0000-0003-3894-2397>

Мадина Н. Байзакова ¹, <https://orcid.org/0000-0002-2246-1866>

Айгерим К. Тусупжанова ¹, <https://orcid.org/0000-0002-1606-643X>

Кайрат Альмисаев ¹, <https://orcid.org/0000-0003-4661-6110>

¹ Сәулелі диагностика және ядролық медицина кафедрасы,
Семей қаласының Мемлекеттік Медицина Университеті,
Семей қ., Қазақстан Республикасы

Магнитті-резонансты томография - тіндер мен мүшелердің суретін электромагнитті толқындардың көмегімен алуға негізделген зерттеу әдісі. Жұмсақтінді құрылымдардың, байлам аппаратының, бас миы мен жұлынның тіндерінің жоғарғы контрасттылығы, сәулелік жүктеменің болмауы магнитті-резонансты томографтың артықшылықтары болып табылады. Магнитті-резонансты томография зерттеуді пациент денесінің анатомиялық ерекшеліктерін ескере отырып кез келген жазықтықта жүргізуге, ал керек болған жағдайда - түрлі мүшелер мен тіндердің өзара орналасуын нақты анықтау үшін үшөлшемді суретті алуға мүмкіндік береді. Өткен мыңжылдықтың 90-шы жылдарының аяғынан бастап магнитті-резонансты томография кез келген мамандықтағы дәрігерлер арсеналына толығымен нықтап енді. Осы мақалада магнитті-резонансты томография дамуы мен қазіргі кезеңде әлем бойынша әр түрлі медициналық мекемелерде тұрақты түрде қолданылып отырған магнитті-резонансты томографияның жұмбақ, құпиялықтан рутинді әдіске айналған - диагностикалық әдіс ретіндегі қалыптасуының негізгі кезеңдері айқындалып көрсетілген. Магнитті-резонансты томография ұдайы дамып және жетілдіріліп отырады, жаңа импульсті бірізділік пен шарғы жасалынады, көптеген түрлі ғылыми зерттеулер жүргізіліп отырады. Аталмыш мақала авторлары бұл жұмыстағы баяндалған ақпараттардың студенттермен қатар тәжірибелік дәрігерлерге де септігін тигізеді деп есептейді.

Түйінді сөздер: магнитті-резонансты томография, диффузды-өлшемелі суреттер, трактография, магнитті-резонансты спектроскопия, магнитті-резонансты маммография.

Библиографическая ссылка:

Мадиева М.Р., Раисов Д.Т., Куанышева А.Г., Рахимбеков А.В., Байзакова М.Н., Тусупжанова А.К., Альмисаев К. История и перспективы развития магнитно-резонансной томографии // Наука и Здравоохранение. 2018. 6 (Т.20). С. 169-175.

Madiyeva M.R., Raissov D.T., Kuanysheva A.G., Rakhimbekov A.V., Baizakova M.N., Tussupzhanova A.K., Almisaev K. History and development prospects of magnetic resonance imaging. *Nauka i Zdravookhranenie* [Science & Healthcare]. 2018, (Vol.20) 6, pp. 169-175.

Мадиева М.Р., Раисов Д.Т., Куанышева А.Г., Рахимбеков А.В., Байзакова М.Н., Тусупжанова А.К., Альмисаев К. Магнитті-резонансты томографияның даму тарихы мен болашағы // Ғылым және Денсаулық сақтау. 2018. 6 (Т.20). Б. 169-175.

В настоящее время такие методы лучевой диагностики как компьютерная томография, ультразвуковая томография, магнитно-резонансная томография получили повсеместное распространение. Поэтому знать о них необходимо любому практическому врачу, а так же всем обучающимся в медицинских ВУЗах. В этой статье мы рассмотрим магнитно-резонансную томографию.

История развития магнитно-резонансной томографии

Во второй половине XX века арсенал методов лучевой диагностики существенно обогатился. Одной из последних методик лучевой диагностики, вошедших в арсенал практической медицины, является магнитно-

резонансная томография (МРТ). Хотя об МРТ часто говорят, как о “новом” методе диагностики, это не совсем верно. Немецкие физики работали с явлением магнитного резонанса еще до Второй мировой войны. В отличие от открытия Рентгена, которое практически моментально нашло практическое применение в медицине, с момента открытия феномена ядерного магнитного резонанса до внедрения в клиническую практику прошло более 30 лет.

1944 год - открытие Е.К. Завойским нового фундаментального явления - электронного парамагнитного резонанса (Казанский государственный университет), положившего начало новому разделу физики - магнитной радиоспектроскопии, который

зарегистрирован в Государственный реестр научных открытий СССР.

В 1946 году Феликс Блох из Стенфордского университета и Эдвард Парселл из Гарвардского университета независимо друг от друга открыли явление ядерного магнитного резонанса.

В 1952 году оба они были удостоены Нобелевской премии по физике «за развитие новых методов для точных ядерных магнитных измерений и связанные с этим открытия».

В период с 1950 по 1970 годы ЯМР развивался и использовался для химического и физического молекулярного анализа. В 1972 году прошел клинические испытания первый компьютерный томограф (КТ), основанный на рентгеновском излучении. Эта дата стала важной вехой в истории развития МРТ, так как показала, что медицинские учреждения были готовы тратить большие суммы денег на оборудование для лучевой диагностики и визуализации тех или иных патологических процессов.

В 1973 году, профессор химии и радиологии из Нью-Йоркского университета Стони Брук — Пол Лотербур, опубликовал в журнале «Nature» статью «Создание изображения с помощью индуцированного локального взаимодействия: примеры на основе магнитного резонанса», в которой были представлены трехмерные изображения объектов, полученные по спектрам протонного магнитного резонанса воды из этих объектов. Эта работа и легла в основу метода магнитной резонансной томографии. Позже доктор Питер Мэнсфилд усовершенствовал математические алгоритмы получения изображения. Первый магнитно-резонансный томограф, созданный Лотербуром, до сих пор находится в Нью-Йоркском университете в Стоуни Брук. Оба они были удостоены Нобелевской премии в 2003 году в области физиологии и медицины за решающий вклад в изобретение и развитие метода магнитной резонансной томографии.

В 1975 году Ричард Эрнст предложил магнитно-резонансную томографию с использованием фазового и частотного кодирования - метод, который используется в МРТ в настоящее время.

В 1980 году Эдельштейн с сотрудниками, используя этот метод, продемонстрировали отображение человеческого тела. Для получения одного изображения требовалось приблизительно 5 минут. К 1986 году время отображения было снижено до 5 секунд без какой-либо значимой потери качества. В том же году был создан ЯМР-микроскоп.

В 1988 году Думоулин усовершенствовал МР - ангиографию, которая делала возможным отображение текущей крови без применения контрастных агентов. В 1989 году был представлен метод планарной томографии, который позволял захватывать изображения с видеочастотами.

Многие клиницисты считали, что этот метод найдет применение в динамической МР-томографии суставов, но вместо этого, он был использован для отображения участков мозга, ответственных за мыслительную и двигательную деятельность. В 1991 году Ричард Эрнст был удостоен Нобелевской премии по химии за

достижения в области импульсных последовательностях для МРТ.

В 1994 году исследователи Нью-Йоркского государственного университета в Стоуни Брук и Принстонского университета продемонстрировали отображение гиперполяризованного газа ^{129}Xe для исследования процессов дыхания. В создание магнитно-резонансной томографии известный вклад внёс также Реймонд Дамадьян, один из первых исследователей принципов МРТ, держатель патента на МРТ и создатель первого коммерческого МРТ-сканера.

Для выполнения магнитного резонанса необходимо однородное, постоянное и стабильное магнитное поле. Величина напряженности поля измеряется в Теслах и является основной характеристикой мощности прибора, т.е. от нее зависит качество и скорость получения изображения.

В соответствии с этим МРТ аппараты делятся на основные группы:

- низкопольные (0,1-0,5 Тл);
- среднепольные (от 1,0 до 3,0 Тл);
- высокопольные (напряженностью свыше 3 Тл).

Магнитно-резонансная терапия: настоящие дни и перспективы развития.

На сегодняшний день 3-тесловые МРТ имеют существенные достоинства при исследованиях головного мозга, выполнении функциональной МРТ, трактографии, МР-ангиографии сосудов головного мозга и при некоторых других видах специальных исследований. Достоинства 3-тесловых МРТ (которые более дорогие, чем модели с меньшим магнитным полем) при исследованиях органов тела (сердца, печени, почек и других органов) не однозначны. Кроме того, 3-тесловые МР-томографы имеют определенные ограничения в использовании, связанные с величиной поглощаемой телом пациента энергии, гомогенности МР-сигнала и рядом других параметров. Поэтому МРТ томографы с магнитным полем более 3 Тл, в основном используются университетами и научными центрами для выполнения различных научных исследований.

Для клинической диагностики основными «рабочими лошадками» остаются 1,5-тесловые томографы. В мире существуют МР-системы и с более высоким полем – 7 Тл и 9 Тл, однако они являются единичными, предназначенными для выполнения специальных научных и медицинских видов исследований.

Некоторые особенности магнитно-резонансного томографического исследования могут повлечь за собой определенные риски, которые могут быть не безопасными для пациента.

К таким рискам относятся: мощные магнитные поля, радиоволны, криогенные жидкости, шум, клаустрофобия, контрастные вещества.

Ферромагнитные инородные тела, такие как фрагменты пуль или осколков, металлические имплантаты, такие как хирургические протезы и клипсы для аневризмы, кардиостимуляторы, также несут потенциальный риск. Взаимодействие магнитного и радиочастотного полей с этими объектами может привести к травме из-за движений объекта в магнитном поле или термальным повреждениям от индукционного нагревания объекта под действием радиочастот.

Таким образом, у пациентов всегда необходимо спрашивать полную информацию о наличии всех имплантатах до входа в комнату с магнитно-резонансным томографом. В надежде снизить этот риск имплантаты постоянно совершенствуются, чтобы их можно было безопасно сканировать.

В современных моделях МР-томографах может подключаться различное количество радиочастотных катушек, которые охватывают все тело человека, делает возможным проводить МРТ всего тела.

Так же были созданы и используются внутрисосудистые (эндоректальные, эндовагинальные) МР-катушки, которые позволили увеличить пространственное разрешение при исследовании органов малого таза и прямой кишки. Разработаны модели внутрисосудистых радиочастотных катушек. Они дают возможность детально изучать сосудистую стенку с помощью МРТ и проводить интервенционные вмешательства на артериях.

Диагностические возможности МРТ значительно расширяются при использовании контрастных средств.

К настоящему времени имеется большое число парамагнитных гадолиниевых контрастных средств общего, неспецифического, назначения (Магневист). На очереди – появление органспецифических контрастных средств. Первыми препаратами такого ряда стали средства для исследований печени – такие как Тесласкан, Примавист, Эндорем. Однако в области использования контрастных средств для МРТ возникла достаточно неординарная ситуация. Быстрый прогресс техники и программного обеспечения привел к тому, что достоинства новых органспецифических контрастных средств, по сравнению с традиционными неспецифическими гадолиниевыми препаратами, во многих случаях оказываются минимальными или отсутствуют вообще.

Информация, получаемая при МРТ, в значительной степени зависит от используемых импульсных последовательностей. В 80х годах XX века возможности использовали две базовые последовательности – “спин-эхо” и “инверсия-восстановление”. Сейчас количество импульсных последовательностей гораздо больше – используются десятки их вариантов. Благодаря развитию программного обеспечения томографов уже достаточно давно существуют методики МР-ангиографии, МР-гидрографии (варианты: урографии, миелографии, холангиографии, цистографии и т.д.). Огромный вклад в развитие нейрорадиологии внесло появление диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (ДВ-МРТ) [9,17].

Диффузионно-взвешенная МРТ – информативная неинвазивная методика нейровизуализации, интенсивность магнитно-резонансного сигнала, при которой призвана отражать не строение анатомических структур мозга, а броуновское движение молекул в них. ДВ-МРТ высокочувствительна к изменениям скорости движения молекул в живой ткани, которые сопровождают практически все патологические процессы. При этом сигнал на диффузионно-взвешенных изображениях и значение измеряемого коэффициента диффузии обратно пропорциональны друг другу.

В настоящее время ведутся работы по исследованию методом ДВ-МРТ больных с токсическими, демиелинизирующими, поражениями, нейротравме, нейродегенеративными заболеваниями и миелинопатиями.

Общепризнанна эффективность диффузионно-взвешенной МРТ как для диагностики острых инсультов, так и для оценки динамики течения и наблюдения [15]. Благодаря высокой чувствительности ДВ-МРТ к изменениям в ультраструктуре среды перспективным представляется изучение этим методом и мониторинг течения травматических повреждений мозга, инфекционных и воспалительных поражений мозга.

В свою очередь, диффузионно-взвешенная МРТ послужила основой для развития другого метода исследования - диффузионно-тензорной трактографии.

ДВ МРТ - техника получения изображений головного мозга, основанная на измерении диффузии воды в каждом объемном элементе (вокселе) изображения. На его основании формируется диффузионная матрица, из которой можно получить 3 числовых значения и 3 вектора, описывающих силу и направление диффузии воды в выбранной точке. Вода диффундирует быстрее вдоль волокон проводящих путей белого вещества, поскольку мембраны аксонов выступают препятствием для ее диффузии в других направлениях. При патологических процессах, например, при ишемии, воспалении, нейродегенеративных заболеваниях, травме, происходит нарушение линейной организации проводящих путей. ДВ МРТ улавливает эту переменную направления диффузии, создавая изображения, позволяющие изучить изменения микроструктуры проводящих путей мозга *in vivo*. Большинство работ, исследующих микроструктуру белого вещества головного мозга при помощи ДВ МРТ, основано на построении двумерных серошкальных карт с использованием показателей величины диффузии в каждом вокселе. Трактография - дополнение к стандартным методам ДВ МРТ, позволяющее получить более детальную информацию об ориентации и кривизне (угле наклона) проводящих путей белого вещества при прохождении через весь головной мозг. При этом для построения траектории диффузии воды по волокнам проводящих путей используется как матрица числовых значений, так и векторы диффузии воды. Траектории изображаются графически в виде пучка кривых. Кроме того, есть методы, позволяющие на основе диффузионной информации построить карты, в которых цветом обозначена ориентация волокон белого вещества. Как правило, при его повреждении повышается диффузия и изменяется направление движения молекул воды.

Диффузионно-тензорная трактография - метод прижизненной количественной и качественной оценки направленности диффузии воды в мозге человека, позволяющий изучать структуру проводящих путей. Этот метод дает возможность реконструировать трехмерные изображения комиссуральных, ассоциативных и проекционных трактов и производить количественную оценку состояния белого вещества головного мозга с помощью определения

коэффициентов, характеризующих диффузионный процесс [6,12].

С помощью диффузно-тензорной трактографии появляется возможность обнаружить микроструктурные нарушения проводящих путей, которые невозможно выявить с помощью стандартных импульсных последовательностей при МРТ [8,10].

Диффузионно-тензорная трактография нашла широкое применение в нейрохирургии для планирования операционного доступа и объема удаления внутримозговых опухолей [16,11], в диагностике и оценке активности очагов при рассеянном склерозе, при болезни Паркинсона, с эпилепсией. [5,3,18].

Высокая скорость получения изображений при МРТ, сочетающаяся с отсутствием лучевой нагрузки, сделала ее важнейшим методом оценки перфузии внутренних органов. Наиболее широкое клиническое применение нашли методы оценки перфузии головного мозга и миокарда с помощью МРТ.

Крайне актуальной темой на сегодняшний день является молекулярная диагностика (molecular imaging). Считается, что это – будущее лучевой диагностики. Большинство исследований в этой области сейчас выполняются с помощью радионуклидных методов. Однако имеется целый ряд экспериментальных работ, в которых убедительно показано, что МРТ с использованием парамагнитных или супрапарамагнитных меток может успешно использоваться и для этих целей. В частности, МРТ стала применяться для оценки лечения полипотентными (стволовыми) клетками. В результате этого, появилась целая ветвь магнитно-резонансных систем, предназначенных для исследований мелких животных.

Соответственно новым возможностям МРТ произошли огромные сдвиги в ее клиническом использовании. Конечно, роль МРТ в основных сферах ее практического применения – исследованиях головного и спинного мозга, позвоночника, суставов – осталась неизменной и еще более укрепилась.

Но, помимо традиционных для МРТ показаний к использованию, метод прочно вошел и в новые для него области.

МРТ сердца и сосудов сейчас стала одной из самых динамично развивающихся областей клинического применения метода, крайне интересующей и радиологов, и кардиологов.

Магнитно-резонансная маммография (МР-маммография), является высокоинформативным методом исследования молочных желез, позволяющий не только более точно определить патологическое образование по сравнению с рентгеновской маммографией или ультразвуковым исследованием, но и охарактеризовать его васкуляризацию.

Результаты различных исследований показали, что у пациентов с подозрением на патологию молочных желез применение магнитно-резонансной томографии с контрастированием способствует выявлению рака молочной железы, дифференциации рубцовых процессов от рецидива, может применяться для предоперационного уточнения распространенности

процесса (мультифокального или мультицентрического роста), оценить поражение подмышечных лимфатических узлов, исследовать молочные железы с имплантами.

Преимуществом магнитно-резонансной томографии молочных желез перед стандартными исследованиями молочных желез (маммография, УЗИ молочных желез) является возможность выявлять клинически и рентгенологически скрытые образования. В ряде исследований [13,14], в которых ежегодная МРТ молочных желез сравнивалась с маммографией у женщин высокого риска развития рака молочной железы, было установлено, что ее чувствительность МР-маммографии в два раза выше.

Магнитно-резонансная спектроскопия (МР-спектроскопия) - это методика, основанная на свойстве ядер ряда атомов индуцировать МР-сигналы в магнитных полях высокой напряженности, после воздействия радиочастотного импульса.

В настоящее время наиболее разработаны и чаще используются два основных метода – фосфорная (^{31}P МР-спектроскопия) и протонная спектроскопия (^1H). Основным применяемым методом в клинической медицине является протонная спектроскопия по атому водорода (^1H), который обладает большей чувствительностью, содержит большой объем метаболической информации и, кроме того, требует меньших затрат времени, необходимого для получения спектра в магнитном поле напряженностью 1,5 Тл и более.

В данный момент МР-спектроскопия быстро превратилась в один из самых информативных методов химического анализа *in vitro*, позволяющих получать информацию о молекулярной структуре, скоростях химических реакций, процессах диффузии в тканях. Очень широко используют информативность МР-спектроскопии в дифференциальной диагностике первичных опухолей мозга и метастазов в головной мозг, заболеваниях печени, простаты, молочной железы, в дифференциальной диагностике этих поражений с инфекционными и демиелинизирующими процессами. Также МР- спектроскопия становится все более востребованной при эпилепсии, при оценке метаболических нарушений и дегенеративных поражений белого вещества головного мозга у детей, при черепно-мозговой травме, ишемии мозга и других заболеваниях. Ведутся активные исследования в области МР-спектроскопии сердца, костного мозга.

Магнитно-резонансная томография может успешно конкурировать с позитронно-эмиссионной томографией в выявлении метастатических поражений скелета. При исследованиях печени, поджелудочной железы, желчных протоков, надпочечников, почек и мочеточников Магнитно-резонансная томография по информативности не уступает мультиспиральной компьютерной томографии.

Следует отметить, что высокие диагностические способности магнитно-резонансной томографии (множество параметров, определяющих контраст на магнитно-резонансных изображениях) и ее преимущества (прежде всего, отсутствие лучевой нагрузки) имеют и обратную сторону. Работа с

магнитно-резонансной системой предъявляет высокие требования к квалификации врача-радиолога, лаборантов и медицинским техникам.

Заключение: В настоящее время магнитно-резонансная томография – совместно с компьютерной томографией, ультразвуковой диагностикой и радионуклидной диагностикой – стала методом, без которого немыслима современная лучевая диагностика [1,2,4,7]. МРТ аппараты появляются в арсеналах большинства больниц и медицинских научных центров, ведь при правильно выбранных показаниях к исследованию магнитно-резонансная томография может являться методом диагностики первой линии, и ответить на большинство вопросов, которые ставятся клиницистами перед врачами лучевой диагностики. Так же актуальным для данного метода является его быстрое развитие и совершенствование. Можно предположить, что магнитно-резонансная томография, возникшая в последней четверти двадцатого века, приобретет огромное значение в двадцать первом веке и получит дальнейшее развитие. В связи с этим, знания о методах лучевой диагностики и магнитно-резонансной томографии в частности, необходимы как врачам, так и студентам медицинских ВУЗов.

Таким образом, в настоящий момент магнитно-резонансная томография, наряду с компьютерной томографией, ультразвуковым исследованием и радионуклидной диагностикой – стала методом, без которого немыслима современная радиология и лучевая диагностика [1,2,4,7]. Магнитно-резонансные томографы дороже, чем рентгенологические аппараты, приборы ультразвуковой диагностики или компьютерные томографы, их сложнее устанавливать и обслуживать, поэтому их меньше. Но при правильно выбранных показаниях и импульсных последовательностях, магнитно-резонансная томография может быть единственным методом, который позволяет ответить на все клинические вопросы. Важнейшей особенностью метода является его быстрое развитие и совершенствование.

Литература:

1. Аляев Ю.Г., Сеницын В.Е., Григорьев Н.А. Магнитно-резонансная томография в диагностике урологических заболеваний. М.: Практическая медицина, 2005. С. 23-56
2. Беленков Ю.Н., Терновой С.К., Сеницын В.Е. Магнитно-резонансная томография сердца и сосудов М.: Видар, 1997. С. 5-130
3. Ефимцев А. Ю., Труфанов Г. Е., Фокин В. А. Демиелинизация при эпилепсии: данные диффузионной тензорной МР-трактографии // Материалы IV Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2010». М., 2010. С. 152–153.
4. Коновалов А.Н., Корниенко В.Н., Пронин И.Н. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии. М.: Видар, 1998. С.21-45
5. Одинак М.М., Базилевич С.Н. Возможности и опыт применения методов нейровизуализации при эпилепсии // Эпилептология в медицине 21 века / под ред. Е.И. Гусева, А.Б. Гехт. М., 2009. С. 287–297.

6. Потапов А.А., Горяйнов С.А. Длинные ассоциативные пути белого вещества головного мозга: современный взгляд с позиции нейронаук // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2014. Т. 78, №5. С. 66–77.

7. Ринк П.А. Магнитный резонанс в медицине. М.: Геотар-Мед, 2003. С 4-25

8. Ceccarelli A., Rocca M. A., Falini A., Tortorella P., Pagani E., Rodegher M., Comi G., Scotti G., Filippi M. Normal-appearing white and grey matter damage in MS: a volumetric and diffusion tensor MRI study at 3.0 Tesla // J. Neurol. 2007. Vol. 254 (4). P. 513–518.

9. Finelli P. Diffusion-weighted MR in hypoglycemic coma // Neurology. 2001; 57: 933-935.

10. Jones D.K. Studying connections in the living human brain with diffusion MRI // Cortex. 2008. Vol. 44, N 8. P. 936–952.

11. Holodny A.I., Ollenschleger M.D., Liu W.C. Diffusion imaging in brain tumors. Neuroimaging // Clin. N. Am. 2002. Vol. 12. P. 107–124.

12. Horsfield M.A., Jones D.K. Applications of diffusion-weighted and diffusion tensor MRI to white matter diseases - a review // NMR in Biomedicine. 2002. Vol. 15. P. 570–577.

13. Leach M.O., Boggis C.R., Dixon A.K. et al. MARIBS study group. Screening with magnetic resonance imaging and mammography of a UK population at high familial risk of breast cancer: a prospective multicentre cohort study (MARIBS). Lancet 2005;365(9473):1769–78.

14. Lehman C.D., Isaacs C., Schnall M.D. Cancer yield of mammography, MR, and US in high-risk women: prospective multi-institution breast cancer screening study. Radiology 2007;244(2):381–8.

15. Lovblad K.O., Launbach H., Baird A., et al. Clinical experience with diffusion-weighted MR in patients with acute stroke. AJNR 1998, 19, 1061-1066.

16. Mormina E., Longo M. MRI Tractography of Corticospinal Tract and Arcuate Fasciculus in High-Grade Gliomas Performed by Constrained Spherical Deconvolution: Qualitative and Quantitative Analysis // Am. J. Neuroradiology. 2015. Vol. 10. P. 1853–1858.

17. Phillips M., McGraw P., Lowe M., et al. Hainline Diffusion-Weighted Imaging of White Matter Abnormalities in Patients with Phenylketonuria // AJNR 2001, 22:1583-1586.

18. Simon J.H., Zhang S., Laidlaw D.H., Miller D.E., Brown M., Corboy J., Bennett J. Identification of fibers at risk for degeneration by diffusion tractography in patients at high risk for MS after acutely isolated syndrome // Magn. Reson. Imaging. 2006. Vol. 24. P. 983–988.

References:

1. Alyaev Yu.G., Sinitsyn V.E., Grigoriev N.A. *Magnitno-rezonansnaya tomografiya v diagnostike urologicheskikh zabolevanii*. [Magnetic resonance imaging in the diagnosis of urological diseases]. M.: Prakticheskaya meditsina. [M.: Practical medicine], 2005. pp. 23-56 [in Russian]
2. Belenkov Yu.N., Ternovoy S.K., Sinitsyn V.E. *Magnitno-rezonansnaya tomografiya serdtsa i sosudov* [Magnetic resonance imaging of the heart and blood vessels]. M.: Vidar, 1997. pp. 5-130 [in Russian]

3. Efimtsev A.Yu., Trufanov G.Ye., Fokin V.A. Demielinizatsiya pri epilepsii: dannye diffuzionnoi tenzornoj MR-traktografii [Demyelination in epilepsy: data from diffusion tensor MR-tractography]. *Materialy IV Vserossiiskogo natsional'nogo kongressa luchevykh diagnostov i terapevtov «Radiologiya-2010»* [Proceedings of the IV All-Russian National Congress of Radiological Diagnostics and Therapists Radiology]. M., 2010. pp. 152–153. [in Russian]
4. Konovalov A.N., Kornienko V.N., Pronin I.N. Magnitno-rezonansnaya tomografiya v neirokhirurgii. [Magnetic resonance imaging in neurosurgery.] M.: Vidar, 1998. pp. 21–45 [in Russian]
5. Odinak M.M., Bazilevich S.N. Vozmozhnosti i opyt primeneniya metodov neirovizualizatsii pri epilepsii [Possibilities and Experience of Using Neuroimaging Methods for Epilepsy]. *Epileptologiya v meditsine 21 veka* [Epileptology in Medicine] M., 2009. P. 287–297. [in Russian]
6. Potapov A.A., Goryainov S.A. Dlinnye assotsiativnye puti belogo veshchestva golovnogo mozga: sovremennyi vzglyad s pozitsii neironauk [The long associative paths of the white matter of the brain: a modern view from the perspective of neuroscience]. *Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko* [Questions of Neurosurgery named after N. N. Burdenko.] 2014. Vol. 78, No. 5. P. 66–77. [in Russian]
7. Rink P.A. Magnitnyi rezonans v meditsine. [Magnetic resonance in medicine.] M.: Geotar-Med, 2003 pp.4-25 [in Russian]
8. Ceccarelli A., Rocca M. A., Falini A., Tortorella P., Pagani E., Rodegher M., Comi G., Scotti G., Filippi M. Normal-appearing white and grey matter damage in MS: a volumetric and diffusion tensor MRI study at 3.0 Tesla. *J. Neurol.* 2007. Vol. 254 (4). P. 513–518.
9. Finelli P. Diffusion-weighted MR in hypoglycemic coma. *Neurology.* 2001;57:933-935
10. Jones D. K. Studying connections in the living human brain with diffusion MRI. *Cortex.* 2008. Vol. 44, N 8. P. 936–952.
11. Holodny A. I., Ollenschleger M. D., Liu W. C. Diffusion imaging in brain tumors. *Neuroimaging // Clin. N. Am.* 2002. Vol. 12. P. 107–124.
12. Horsfield M. A., Jones D. K. Applications of diffusion-weighted and diffusion tensor MRI to white matter diseases — a review. *NMR in Biomedicine.* 2002. Vol. 15. P. 570–577.
13. Leach M.O., Boggis C.R., Dixon A.K. et al. MARIBS study group. Screening with magnetic resonance imaging and mammography of a UK population at high familial risk of breast cancer: a prospective multicentre cohort study (MARIBS). *Lancet.* 2005;365(9473):1769–78.
14. Lehman C.D., Isaacs C., Schnall M.D. Cancer yield of mammography, MR, and US in high-risk women: prospective multi-institution breast cancer screening study. *Radiology.* 2007;244(2):381–8.
15. Lovblad K-O., Launbach H., Baird A., et al. Clinical experience with diffusion-weighted MR in patients with acute stroke. *AJNR.* 1998, 19, 1061-1066.
16. Mormina E., Longo M. MRI Tractography of Corticospinal Tract and Arcuate Fasciculus in High-Grade Gliomas Performed by Constrained Spherical Deconvolution: Qualitative and Quantitative Analysis. *Am. J. Neuroradiology.* 2015. Vol. 10. P. 1853–1858.
17. Phillips M., McGraw P., Lowe M., et al. Hainline Diffusion-Weighted Imaging of White Matter Abnormalities in Patients with Phenylketonuria. *AJNR* 2001, 22:1583-1586.
18. Simon J. H., Zhang S., Laidlaw D. H., Miller D. E., Brown M., Corboy J., Bennett J. Identification of fibers at risk for degeneration by diffusion tractography in patients at high risk for MS after acutely isolated syndrome. *Magn. Reson. Imaging.* 2006. Vol. 24. P. 983–988.

Контактная информация:

Рахимбеков Александр Владимирович - ассистент кафедры «Лучевой диагностики и ядерной медицины» Государственного медицинского университета г. Семей, г. Семей, Республика Казахстан.

Почтовый адрес: 071400, Восточно-Казахстанская область, г. Семей, улица Абая, 103.

E-mail: Rahimbekov85av@mail.ru

Телефон: 87479846299