

## Оглядіві статті

---

УДК 616.831—073.756.8—073.8

### Функциональная магнитно-резонансная томография головного мозга и ее диагностическое значение (обзор литературы)

Чувашова О.Ю.

Клинико-диагностический центр “Здоров’я літніх людей” АМН України,  
г.Киев, Україна

*Ключевые слова:* функциональная магнитно-резонансная томография; сенсомоторная, речевая, зрительная кора головного мозга; внутричерепные опухоли; глиомы; эпилепсия; нарушение мозгового кровообращения.

Появление в 1980 г. магнитно-резонансной томографии (МРТ) как способа, позволяющего получать изображение различных структур головного мозга человека, ее быстрое развитие, становление и широкое диагностическое применение в медицинской практике, потенциальные возможности метода и аппаратуры способствовали появлению в 1990—1992 гг. нового метода получения изображений определенных локальных участков головного мозга, отвечающих за сенсомоторную, речевую, зрительную функции с использованием техники перфузии и болюсного введения контрастного вещества [1—4, 10, 11, 18, 53, 69, 70, 72].

В основе функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) лежит ее способность определения функциональных изменений нейрональной активности различных участков коры головного мозга — состояния покоя и активации, происходящие в одном и том же определенном участке мозга как ответные реакции на тест-задания и связанные с этими состояниями изменения гемодинамики и степени оксигенации крови [53, 54, 69, 71, 72, 94], получившие название ВкЛК эффект (Blood kxygenation Level Kependent). Ответная реакция на активацию вызывает регионарное повышение кровотока в артериолах и капиллярах, объем которого превышает потребности ткани мозга в кислороде, что приводит к локальной гипероксимии и, следовательно, к снижению концентрации деоксигемоглобина [53, 54, 69, 72]. Различие в магнитных свойствах диамагнитного оксигемоглобина и парамагнитного деоксигемоглобина, снижение концентрации последнего в мелких сосудах и ткани мозга приводит к увеличению  $T_2w_i$  и, следовательно, интенсивности сигнала [54, 72].

Теоретические построения [37] и экспери-

ментальные исследования на аппаратах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл и 4,0 Тл [94] показали, что градиент магнитного поля как степенная функция возрастает пропорционально напряженности постоянного магнитного поля в пределах от  $B^{1,6}$  до  $B^{2,0}$  [45]. Поэтому ВкЛК контрастная фМРТ требует применения сканеров с магнитным полем более 1,5 Тл [45]. Связь между силой магнитного поля и ВкЛК-эффектом достоверна также для фМРТ на аппаратах с напряженностью магнитного поля 1,0 Тл [19, 45].

В качестве последовательностей, используемых для получения изображений, применялась техника эхопланарных изображений (ЕРІ) [25, 53, 72]. В настоящее время фМРТ проводится с применением стандартной или усовершенствованных систем с большими возможностями ЕРІ программ.

Специальные статистические программы и методики позволяют обработать участки с изменяющейся интенсивностью сигнала в зависимости от длительности, способа активации и вида артефактов [4, 6, 8, 23, 26, 40, 72]. Поскольку микрососудистый ответ на нейрональную активность задерживается на несколько секунд [64], время задержки между стимулом и интенсивным сигналом составляет 4—8 с [6]. Обработанные результаты оформляются в виде карт активации, которые совмещаются с локализацией анатомических образований головного мозга.

фМРТ способна определять изменения кровенаполнения не только в капиллярах, но и в малых и больших венозных сосудах. Сигнал, полученный от больших эпидуральных вен и от территории, которую они дренируют, может быть принят за активизируемую функциональную зону мозга [38, 92]. Необходимо учи-

тывать это обстоятельство и производить вычитание сигналов от сосудистых структур из карт активации.

Результаты фМРТ имеют высокую степень достоверности в определении изменений функционального состояния участков головного мозга при сопоставлении с такими методами, как инвазивный Wada-тест [17, 29] — степень корреляции составляла 95% [17], прямая корковая электростимуляция в процессе операции [32, 35, 47, 55, 77, 81, 98] — степень корреляции — 90—92% [55, 98], транскраниальная магнитная стимуляция [60, 79]; магнитоэнцефалография [34, 52, 67, 77, 79], электроэнцефалография [52] и позитронно-эмиссионная томография [9]. Несмотря на существенные результаты, достигнутые в течение 10-летнего периода, протоколы фМРТ находятся еще в состоянии дальнейшего развития.

При проведении фМРТ применяются различные тест-задания и внешние раздражители, вызывающие активацию определенных локальных участков головного мозга, ответственных за выполнение соответствующих его функций. Тест-задания выполнялись здоровыми волонтерами и/или пациентами самостоятельно или в ответ на задание врача.

При исследовании двигательных функций мозга применялось достаточно большое количество разнообразных тест-заданий.

Последовательное соединение большого пальца с каждым из противоположных пальцев руки [4, 22, 23, 25, 27, 28, 32, 68, 73, 76, 82]. При этом предусматривались такие варианты этого тест-задания: движение пальцами правой или левой руки, перемежающиеся с отдыхом; одновременные движения пальцами двух рук, перемежающиеся с отдыхом; движения пальцами правой руки, перемежающиеся с движениями пальцами левой руки. Такие тест-задания выполняются самостоятельно с темпом 2 движения в 1 с.

1. Самостоятельное сжатие и разгибание кисти [32].

2. Самостоятельное сгибание и разгибание руки в локтевом суставе [35, 36, 55, 60, 76, 95].

3. Самостоятельная супинация и пронация кистями противоположных рук [81].

4. Самостоятельное сгибание и разгибание ног [32, 55].

5. Самостоятельное движение пальцами ноги [76].

6. Самостоятельное движение паретичной рукой [21].

К специфическим тестам-заданиям при исследовании двигательной функции мозга, выполняемых здоровыми волонтерами или па-

циентами, можно отнести тест-задания на движение языком [32], щелкание языком [82], надувание губ [32], движение обеими щеками [55], жевание [90].

К подведенным извне раздражителям, вызывающим сенсомоторную активацию, относятся постукивание по пальцам [27], удары щеткой по руке [32], периодическая стимуляция ладони правой руки [44], стимуляция конечностей импульсами электрического тока [91].

При проведении экспериментов по изучению двигательных функций головного мозга необходимо учитывать, что только мысль о совершении движения способна вызвать изменение МР-сигнала в первичных двигательных центрах коры головного мозга и как следствие уменьшение разницы сигналов активного периода и периода отдыха, т.е. понижение отношения сигнал/шум [74]. В то же время воображаемая двигательная задача без реального движения рукой может вызывать активацию в области двигательной коры. Тест-задание на движение рукой может активировать первичную двигательную кору и не вызывать активацию или активировать другие близлежащие зоны коры [75, 95]. При этом более чем в 90% случаев стимуляция при исследовании двигательной функции была найдена в активизируемых участках головного мозга [32, 48, 62, 98, 99].

Тест-задания на исследование функции зрения включают поиск изображения и рассмотрение шахматной доски [33, 84, 97] либо стимуляцию светом [51].

Для исследования слуховой и речевой функций мозга применялись тест-задания на прослушивание неспецифических шумов [16, 32], повествоющего текста и единичных слов [16], изменение тональности слов [12] и тепловое вестибулярное воздействие [59]. Речевые тест-задания также включали: тихое произношение слов или повторение текста одновременно с человеком, читающим его через интерком [39, 75], мысленное произношение слов [93], соединение задаваемых глаголов с существительными [32], семантические речевые системы (задания на вычитание) [13, 15], чтение иероглифов и фонограмм [61]. Для речевых заданий крайне важно, чтобы пациент умел и мог в период отдыха расслабиться и не концентрировать внимание на предыдущем речевом задании.

Для исследования одной из наиболее сложных функций головного мозга — памяти применялось чтение пациентом текста с последующим его воспроизведением [24], в быстром темпе запоминание (заучивание) текста [1], шифрование (кодирование) новости [100].

Тест-задания на изобразительную и живо-

писную память [2] можно отнести как к исследованию функции зрения, так и памяти.

Представление пациентом себя балансирующим на качающейся доске относится к тест-заданию на воображение [50]. Прослушиванием музыки или чтения под музыку изучались области мозга, отвечающие за музыкальное образование [66].

Применение различных ароматических веществ позволяло исследовать их влияние на центры обоняния [58, 89]. Холодовая, тепловая и электростимуляция срединного нерва позволяли исследовать их воздействие на центры чувствительности [30, 49].

Применение достаточно широкого спектра приведенных тест-заданий и раздражителей для исследования нарушений церебральных функций в значительной мере зависит от вида, степени тяжести и природы заболеваний центральной нервной системы, локализации очага поражения и ряда других факторов, а также способности пациентов реализовать задания, т.е. фактически каждый пациент нуждается в индивидуальном подходе при выборе тест-задания. Для здоровых волонтеров ограничения в выборе тест-заданий минимальны. Выбор протоколов изображений и тест-заданий должны преследовать цель получения достоверной информации о состоянии и степени нарушения функций соответствующих структур головного мозга.

Используя современные знания в области физики, статистического анализа, радиологии, психологии, неврологии и нейрохирургии, фМРТ позволяет получать сведения, характеризующие личность человека. При выяснении механизмов познания, обучения и памяти человека (тест-задание на чтение текста с последующим его воспроизведением пациентом) активация обнаруживалась в средней и нижней лобных извилинах [24], а также средней извилине височной доли [1], что соответствует современным представлениям об участии этих отделов головного мозга в реализации указанных сложных процессов.

Исследования изобразительной и живописной памяти человека выявляли различную активацию в лобных областях в зависимости от вида задания [2]. В то же время заметная двусторонняя активация (поля 17 и 18 коры мозга) определялась при выполнении обоих указанных заданий. В 90% случаев активация была двусторонней для изобразительных, в 60% — для живописных заданий. Область мозга, отвечающая за музыкальное образование, — кора правой поперечной затылочной борозды [66].

Воображение здоровым волонтером, балансирующим на качающейся доске, вызывало ак-

тивацию в зубчатом ядре мозжечка. При этом мозжечок осуществляет не только функцию координации движения, но и познавательную функцию [50].

Исследования способности человеческого мозга к реорганизации областей коры, ответственных за сенсомоторные, речевые, зрительные функции и память, так называемая пластичность мозга у взрослых и детей позволили проследить за взаимоотношениями активности здоровых и поврежденных участков мозга и изменениями их функциональной локализации при очаговых поражениях мозга в до- и послеоперационный период [40, 56, 60]. фМРТ выявила данные активации, сходные у взрослых и детей дошкольного возраста. У новорожденных (до 1 мес) и младенцев наблюдались значительные различия при активации зрительной коры. У детей младшего возраста пластичность мозга после заболевания была выражена более ярко. При поражении в области роландовой борозды активация отмечалась в двигательной коре ипсилатеральной гемисферы. При деструктивных процессах, новообразованиях в мозге или случаях ранней тяжелой эпилепсии наблюдалось внутригемисферное смещение центров активации речи [46].

Еще в первых работах, посвященных фМРТ [5, 7, 25], отмечалось, что метод обеспечивает определение активности в сенсомоторной коре. Однако точно разделить активацию пре- и постцентральных извилин на двигательную и сенсорную области не удается, т.к. стимуляция двигательной коры одновременно вызывает стимуляцию сенсорной и их функциональная активность частично совпадает в обеих извилинах [42].

При оценке двигательной активности необходимо учитывать состояние испытуемых. У здоровых волонтеров при противопоставлении пальцев руки большому пальцу максимальная функциональная активность определялась в конвекситальной поверхности первичной двигательной коры на стороне противоположной тестируемой руке и в меньшей степени в ипсилатеральной сенсомоторной коре, а также в премоторной и других околоцентральных областях [73]. У больных очаги активации обнаруживались в первичной двигательной коре с локализацией в средних отделах прецентральной извилины, нисходящих отделах центральной борозды, а также в сенсомоторной области и латеральной премоторной коре в 55% случаев. В 20% случаев активация определялась в постцентральной извилине [32]. Степень активации различных центральных и околоцентральных областей в значительной мере зависела от вариантов применяемых тест-заданий.

Наблюдалась тенденция к увеличению ипсилатеральной активации у волонтеров при движении левой рукой по сравнению с правой. Эти явления отсутствовали у пациентов с опухлями мозга, у которых обнаружена повышенная ипсилатеральная активность [36].

Быстрая супинация и пронация противоположными руками приводили к активации в бледном шаре и скорлупе [20]. Жевательные движения вызывали активацию в первичной двигательной коре [90]. Временная активация в процессе стимуляции ладони правой руки наблюдалась в прероландовой области. Сигнал активации отмечался не только в этой зоне мозга, но и в центральной борозде, включая оба края прецентральной и передний край постцентральной извилин [44]. Реакция коры головного мозга на раздражение конечностей импульсами электрического тока проявлялась в активации области теменной доли на стороне противоположной стимулируемой конечности [91].

фМРТ позволила выявить и идентифицировать дополнительный двигательный участок мозга, примыкающий к области поясной извилины над мозолистым телом [95]. При применении двигательных тестов активация может встречаться вдоль боковой мозговой борозды и ее краев [41, 43].

Исследование зрительных функций путем стимуляции глаз поиском изображения или рассматривания шахматной доски вызывало активацию в первичной зрительной коре [84].

При стимуляции сетчатки активация обнаруживалась в задней и передней частях шпорной борозды, с большим количеством очагов активации в передней части шпорной борозды [33]. Стимуляция глаз светом вызывала одновременное изменение сигнала в латеральном коленчатом теле и первичной зрительной коре. Методом фМРТ впервые было продемонстрировано таламокортикальное взаимодействие первичных зрительных путей у здоровых пациентов [51].

Прослушивание здоровыми волонтерами неспецифических шумов, звуков, бессмысленной речи, единичных слов и повествующего текста вызывало активацию в верхней височной извилине и передней височной борозде обоих полушарий мозга [16]. Стимуляция речью давала более интенсивные сигналы, чем звуками. Разницы в сигналах от бессмысленной речи, единичных слов и повествующего текста практически не отмечалось [16]. Активация скорее вызывается в верхней височной извилине, когда пациент слушает речь, чем когда говорит, и область активации в передней височной области скорее возникает не как ответ на речевое

тест-задание, а как активация слухового анализатора [13].

Тепловое вестибулярное воздействие на среднее ухо вызывало активацию в области височно-теменного стыка, центральной и внутренней бороздах, а также в премоторной области лобной доли [59].

Речевые нагрузки вызывали активацию в латеральной лобной и височно-затылочно-теменной коре [17], коре левой префронтальной области [59], левой передней лобно-височной области [12, 87], в областях 44 и 45 полей Бродмана, дорсо-латеральной коры лобной области (область центра Broca) [14, 39], 27 и 37 полях височной коры и областях 17 и 18 стриарной коры [39].

Семантические (мыслительные) процессы активизировали также левую заднюю височную область. Отмечалась активация дорсо-латеральной лобной коры и иногда дополнительной двигательной области [93]. Область активации при тест-заданиях на речевую функцию у правшей и левшей совпадали [31]. При этом было обнаружено, что у практически здоровых мужчин речевые функции реализуются в одном полушарии, а именно в левой нижней лобной извилине, а у женщин — в обеих гемисферах большого мозга — левая и правая нижние лобные извилины [88].

Для исследования центров обоняния у здоровых волонтеров применялись различные ароматические вещества — пиридол, ментол, амлацетат, 3-циклопентанедион, карамельная отдушка [58, 89]. Активация определялась в лобно-орбитальной области и обонятельной коре, а также в достаточно большом количестве случаев — в поясной извилине и некоторых отделах лимбической системы. Области активации у мужчин и женщин не отличались, хотя интенсивность активации у женщин была значительно меньше, чем у мужчин [58]. Отчетливая активация в орбитальной и первичной обонятельной коре, умеренная активация в поясной извилине, боковой височной коре, мозжечке, теменной и затылочных долях свидетельствует о том, что обонятельная стимуляция участвует в эмоциях и поведенческом процессе [58].

Исследования болевых ощущений путем интенсивной холодной и тепловой стимуляции срединного нерва обнаружили активацию в таламусе, первичной и вторичной сенсомоторной коре, передних участках островка и пояска и позволили сделать вывод о том, что в механизме возникновения боли участвуют сенсорная, двигательная и познавательная области коры головного мозга [30].

Круг заболеваний головного мозга, при которых с диагностической целью применяется

метод фМРТ, достаточно широк. Способность фМРТ на дооперационном этапе определять нарушения функций двигательных и речевых центров головной коры как у детей, так и взрослых с эпилепсией позволяет выбирать оптимальную лечебную и оперативную тактику и заменить инвазивный Wada-тест [17, 47, 60, 63, 80]. У больных с нарушениями мозгового кровообращения изучение мозговой активации методом фМРТ в областях, ответственных за двигательную функцию, помогает в понимании механизмов ее восстановления, включая роль пораженной гемисферы [21, 27, 28, 79].

У пациентов с болезнью Паркинсона при проведении двигательных тест-заданий гипоактивация в лобной области ограничивалась клювовидной частью дополнительной двигательной коры и дорсолатеральной префронтальной корой. Другие области двигательной коры, включая переднюю часть поясной извилины и первичную сенсомоторную кору, вероятно, участвуют в попытках допаминденервированного мозга пополнить двигательные связи с целью преодоления дефицита стриарных двигательных структур [83].

Метод фМРТ позволяет на ранних стадиях болезни Альцгеймера, сопровождающейся антеградной амнезией, выявлять изменения в средней височной доле на этапе, когда МРТ еще не визуализирует атрофические изменения [78].

Выявлены различия в активации головного мозга здоровых волонтеров и больных шизофренией [8].

При внутричерепных опухолях различия их локализации, гистобиологической природы, степени злокачественности, выраженности перифокального отека и смещения срединных структур определяют разнообразие нарушений функционального состояния соответствующих областей коры головного мозга, ответственных за сенсомоторные, зрительные и речевые функции. Исследовались пациенты с глиальными опухолями — с астроцитомами I, II, и III степеней злокачественности и глиобластомами [3, 32, 68, 73, 80—82], менингиомами [32, 73, 82], артерио-венозными мальформациями [32, 62, 80], ангиомами [32]. У больных с глиальными опухолями различной степени злокачественности при проведении сенсомоторных тест-заданий области активации проявлялись в первичной двигательной и сенсорной коре, а также латеральной, премоторной, дополнительной двигательной областях 41, 42 и 22 полей Бродмана. При локализации опухоли около центральной борозды отмечалась смещение областей активации по сравнению с непораженной гемисферой. Такая же ситуация наблюдалась у

всех пациентов с выраженным масс-эффектом, сопутствующим этим опухолям [68]. Участки активации помимо сенсомоторной коры и центров речи в ряде случаев определялись вокруг опухоли [3]. У больных с менингиомами участки активации визуализировались в первичной двигательной и сенсорной коре [32, 73, 82], с артерио-венозными мальформациями — в первичной двигательной коре [32, 62, 80], с ангиомами — в первичной двигательной коре, а также дополнительной двигательной и латеральной премоторной коре [32]. Ошибка в определении пораженных участков сенсомоторной коры методом прямой электростимуляции и фМРТ составляла в среднем 2,2 мм [85]. Установлено, что при расстоянии более 15 мм между новообразованиями и местом активации тотальная резекция опухоли допустима, в то же время если это расстояние составляет менее 15 мм, тотальная резекция может вызвать нарушение двигательных функций [32]. Двигательный дефицит после резекции опухоли не возникает, если область активации находится на расстоянии более 20 мм от опухоли [65].

При проведении стереотаксических операций определение активируемых участков сенсомоторной речевой коры позволило значительно снизить дозу лучевого воздействия на непораженные области головного мозга [32, 86, 96].

Таким образом, наиболее существенная роль фМРТ в диагностическом плане заключается в ее способности неинвазивно определять нормальные и патологические зоны функциональной организации сенсомоторной, зрительной и речевой коры головного мозга у взрослых и детей, производить картирование локальных участков коры с наложением их на соответствующие анатомические структуры и введением полученных данных в навигационные операционные компьютеры, на дооперационном этапе определять степень риска возникновения неврологического дефицита при нейрохирургических вмешательствах, оптимизировать и минимизировать последствия операционного вмешательства, выбирать рациональные методы медикаментозного лечения [3, 32, 35, 48, 60, 62, 67, 73, 80]. Следует также отметить, что фМРТ позволяет наблюдать за динамикой патологических процессов в головном мозге в ходе лечебных мероприятий и прогнозировать восстановление нарушенных функций. К новому направлению следует отнести ее возможность в определении места и степени воздействия нейротропных лекарственных средств [57, 63].

Стремительное развитие и совершенствование технологии фМРТ, расширение ее применения в медицинской практике позволяют

сделать вывод о перспективности этого метода для повышения эффективности лечения заболеваний головного мозга.

#### Список литературы

1. Aizenstein H.J., Macdonald A.M., Stenger V.A. et al. Complementary Category Learn system indentified using event-related functional MRI // *J.Cong. Neurosci.* — 2000. — V.12, №6. — P.977—987.
2. Angioi-Kuprez K., Braun M., Jonveaux T. et al. Exploration of visual memory by functional MRI // *J. Fr. kphthalmol.* — 2000. — V.23, №1. — P.19—26.
3. Atlas W.A., Howard R.S.II, Maldjian J. et al. Functional magnetic resonance imaging of regional brain activity in patients with intracerebral gliomas: findings and implications for clinical management // *Neurosurgery.* — 1996. — V.38. — P.329—337.
4. Bandettini P.A., Wong E.C., Hinks R. et al. Time course EPI of human brain function during task aktivation // *Magn.Reson.Med.* — 1992. — V.25. — P.390—397.
5. Bandettini P.A., Wong E.C., Jesmanowicz A. et al. Spin-echo and gradient-echo EPI of human brain activation using B<sub>1</sub>LK contrast: a comparative study at 1,5 T // *NMR Biomed.* — 1994. — V.7. — P.12—20.
6. Bandettini P.A., Wong E.C., Hinks R. et al. Time course EPI of human brain function during task aktivation // *Magn.Reson.Med.* — 1992. — V.25. — P.390—397.
7. Bandettini P.A., Wong E.C., Yoe E.A. et al. Functional dynamics of blood oxygenation level dependent contrast in the motor cortex // *Proc.SMRM.* — 1993. — P.1382—1391.
8. Baudendistel K., Schad L.R., Friedlinger M. et al. Postprocessing of functional MRI data of motor cortex stimulation measured with a standard 1,5 imager // *Magn. Reson. Imaging.* — 1995. — V.13, №5. — P.701—707.
9. Baumann S.B., Noll K.C., Kondziolka K.S. et al. Comparison of functional magnetic resonance imaging with position emission tomography and magnetoencephalography to edentify the motor cortex in a patient with an arteriovenous malformation // *J.Image Guid.Surg.* — 1995. — V.1 — P.191—197.
10. Belliveau J.W., Kennedy K.N., McKinstry R.C. et al. Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging // *Science.* — 1991. — V.254. — P.716—719.
11. Belliveau J.W., Rosen B.R., Kantor H.L. et al. Functional cerebral imaging by susceptibility-contrast NMR // *Magn.Reson.Med.* — 1990. — V.14. — P.538—546.
12. Berry I., Kmonet J-F., Warach S. et al. Activation of association auditory cortex demonstrated with functional MRI // *Neuroimage.* — 1995. — V.2. — P.215—219.
13. Binder J.R. Neuroanatomy of language processing studied with functional MRI // *Clin. Neurosci.* — 1997. — V.4. — P.87—94.
14. Binder J.R., Frost J.A., Hammeke T. et al. Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging // *J.Neurosci.* — 1997. — V.17. — P.353—364.
15. Binder J.R., Rao S.M., Hammeke T.A. et al. Lateralized human brain language systems demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging // *Arch.Neurol.* — 1995. — V.52. — P.593—601.
16. Binder J.R., Rao S.V., Hammeke T.A. et al. Functional magnetic resonance imaging of human auditory cortex // *Ann.Neurol.* — 1994. — V.35. — P.662—672.
17. Binder J.R., Swanson S.J., Hammeke T.A. et al. Ketermination of language dominance using functional MRI: a comparison with the Wada-test // *Neurology.* — 1996. — V.46. — P.978—987.
18. Blamire A.M. Kгawa S., Ugurbil K. et al. Mapping of the visual cortex by high-speed magnetic resonance imaging // *Proc.Natl.Acad.Sci.USA.* — 1992. — V.89. — P.11069.
19. Bucher S.F., Seelos K.C., Stehling M.K. et al. Technical apporoaches functional magnetic resonance imaging // *Radiolige.* — 1995. — V.35. — P.228—235.
20. Bucher S.F., Seelos K.S., Stehling M. et al. High resolution activation mapping of basal ganglia with functional magnetic resonance imaging // *Neurology.* — 1995. — V.45. — P.180—182.
21. Cao Y., K'klhaberriague L., Vikingstod E.M. et al. Pilot study of functional MRI to assess cerebral activation of motor function after poststroke hemiparesis // *Stroke.* — 1998. — V.29, №1. — P.112—122.
22. Cao Y., Towle V.L., Levin K.N., Balter J.M. Functional mapping of human motor cortical activation with conventional MR imaging at 1,5 T // *Magn.Reson.Imaging.* — 1993. — V.3. — P.869—878.
23. Cettolo V., Frangesto M.P., Zuiani C. et al. Functional mapping of the motor and primary sensorial cortex using magnetic resonance tectiques. II Image analysis

- techniques // *Radiol. Med.* — 1996. — V.92, №5. — P.554—561.
24. *Cohen J.K., Forman S.K., Braver T.S. et al.* Activation of the prefrontal cortex in a nonspatial working memory task with functional MRI // *Hum. Brain. Mapp.* — 1994. — V.1. — P.293—304.
25. *Connelly A., Jackson G.K., Frackowiak R.S.J. et al.* Functional mapping of activated human primary cortex with a clinical MR imaging system // *Radiology.* — 1993. — V.188. — P.125—130.
26. *Cox R.W.* AFNI: software for analysis and visualization of functional magnetic resonance neuroimages [Abstract] // *Proc. Society for Magnetic Resonance. Soc. Magn. Reson. Med.* — 1995. — P.834.
27. *Cramer S.C., Moore C.J., Finklestein S.P., Rosen B.R.* A pilot study of somatotopic mapping after cortical infarct // *Stroke.* — 2000. — V.31, №3. — P.668—671.
28. *Cramer S.C., Nelles G., Benson R.R. et al.* A functional MRI study of Subjects recovered from hemiparatic stroke // *Stroke.* — 1977. — V.28, №12. — P.18—27.
29. *Cuenod C.A., Bookheimer S.Y., Hertz-Pannier L., et al.* Functional MRI during word generation, using conventional equipment: a potential tool for language localization in the clinical environment // *Neurology.* — 1995. — V.45. — P.1821—1832.
30. *Kavis K.K.* The neural circuitry of pain as explored with functional MRI // *Neurol. Res.* — 2000. — V.22, №3. — P.313—317.
31. *Kesmond J.E., Sum J.M., Wargner A.K. et al.* Functional MRI measurement of language lateralization in Wada-tested patients // *Brain.* — 1995. — V.118. — P.1411—1420.
32. *Kymarkowski S., Sunaert S., Van kostende S., et al.* Functional MRI of the brain localisation of eloquent cortex in focal brain lesion therapy // *European Radiologi.* — 1998. — V.8, №9. — P.1573—1580.
33. *Engel S.A., Rumelhart K.E., Wanders B.A. et al.* fMRI of human visual cortex // *Nature.* — 1994. — V.369. — P.525.
34. *Fahlbush R., Ganslandt K., Nimsky C.* Intraoperative imaging with open magnetic resonance imaging and neuronavigation // *Childs Nerv.Syst.* — 2000. — V.16, №10—11. — P.829—831.
35. *Fandino J., Kollias S.S., Wieser H.G. et al.* Intraoperative validation of functional magnetic resonance imaging and cortical reorganization patterns in patients with brain tumor involving the primary motor cortex // *JNeurosurg.* — 1999. — V.91, №2. — P.238—250.
36. *Fellner C., Schaier J., Fellner F. et al.* Functional MR imaging of the motor cortex in healthy volunteers and patients with brain tumours: qualitative and quantitative results // *Rontgenpraxis.* — 1999. — V.52, №1. — P.3—14.
37. *Fisel C.R., Ackerman J.L., Buxton R.B. et al.* MR contrast due to microscopically heterogeneous magnetic susceptibility: numerical simulations and applications to cerebral physiology // *Magn.Reson.Med.* — 1991. — V.17. — P.336—342.
38. *Frahm J., Merboldt K.K., Hsricke W.* Functional MRI of human brain activation at high spatial resolution // *Magn. Reson. Med.* — 1993. — V.29. — P.139—144.
39. *Friedman L., Kenny J.T., Wise A.L. et al.* Brain activation during silent world generation evaluated with functional MRI // *Brain Lang.* — 1998. — V.64, №2. — P.231—256.
40. *Friston K.J., Jezzard P., Turner R.* The analysis of functional MRI time-series // *Hum. Brain. Mapping.* — 1994. — V.1. — P.153—171.
41. *Friston K.J., Williams S., Howard R. et al.* Movement-related effects in fMRI time series // *Magn.Reson.Med.* — 1996. — V.35. — P.346—353.
42. *Geyer S., Ledberg A., Schorman T. et al.* Microstructure and function of the primary somatosensory cortex of man: an integrative study using cytoarchitectonic mapping and PET // *Hum.Brain Mapping.* — 1996. — V.3. — P.18.
43. *Hajnal J.V., Myers R., Katridge A. et al.* Artifacts due to stimulus correlated motion in functional imaging of the brain // *Magn.Reson.Med.* — 1994. — V.31. — P.283—290.
44. *Hammeke T.A., Yetkin F.Z., Mueller W.M. et al.* Functional magnetic resonance imaging of somatosensory stimulation // *Neurosurgery.* — 1994. — V.35 — P.667—681.
45. *Henning J., Speck K., Lynneker T., Janz C.* Fundamentals of functional magnetic resonance measurements // *Padiologe.* — 1995. — V.35. — P.221—229.
46. *Hertz-Pannier L.* Brain plasticity during development: physiological bases and functional MRI approach // *JNeuroradiol.* — 1999. — V.26, №1. — P.66—74.
47. *Hertz-Pannier L., Gaillard W.K., Mott W.K. et al.* Noninvasive assessment of language dominance in children and adolescents with functional MRI: a preliminary study //

- Neurology. — 1997. — V.48, №4. — P.1003—1012.
48. *Jack C.R., Thompson R.M., Kim Butts R. et al.* Sensory motor cortex: correlation of presurgical mapping with functional MR imaging and invasive cortical mapping // *Radiology.* — 1994. — V.190. — P.85—92.
  49. *Kampe K.K., Jones R.A., Auer K.P.* Frequency dependence of the functional MRI response after electrical median nerve stimulation // *Hum.Brain.Mapp.* — 2000. — V.9, №2. — P.106—114.
  50. *Kim S-G., Ugurbil K., Strick P.L.* Activation of a cerebellar output nucleus during cognitive processing / *Science.* — 1994. — V.265. — P.949—951.
  51. *Kleinschmidt A., Merboldt K-K, Hsricke W. et al.* Correlation imaging of thalamocortical coupling in the primary visual pathway of the human brain // *J.Cereb.Blood Flow.Metab.* — 1994. — V.14. — P.952—957.
  52. *Kwong K.K.* Functional magnetic resonance imaging with echo planar imaging // *Magn.Reson.Q.* — 1995. — V.11, №1. — P.1—20.
  53. *Kwong K.K., Belliveau J.W., Chesler K.A. et al.* Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation // *Proc.Natl.Acad.Sci.USA.* — 1992. — V.89. — P.5675—5679.
  54. *Le Bihan K., Karni A.* Applications of magnetic resonance imaging to the study of human brain function // *Curr.opin.Neurobiol.* — 1995. — V.5 — P.231—237.
  55. *Lehericy S., Kuffau H., Cornu P. et al.* Correspondence between functional magnetic resonance imaging somatotopy and individual brain anatomy of the central region: comparison with intraoperative stimulation in patients with brain tumors // *JNeurosurg.* — 2000. — V.92, №4. — P.589—598.
  56. *Lehericy S., Marsault, Le Bihan K.* Functional MRI: brain plasticity, brain disease and functional recovery // *J.Neuroradiol.* — 1999. — V.26, №1. — P.75—81.
  57. *Leslie R.A., James M.F.* Pharmacological magnetic resonance imaging: a new application for functional MRI // *Trends Pharmacol. Sci.* — 2000. — V.21, №8. — P.314—318.
  58. *Levy L.M., Henkin R.I., Hutter A. et al.* Functional MRI of human olfaction // *J. Comput. Assit. Tomogr.* — 1997. — V.21, №6. — P.849—956.
  59. *Lobel E., Kleine J.F., Bihan K.L. et al.* Functional MRI of galvanic vestibular stimulation // *JNeurophysiol.* — 1998. — V.80, №5. — P.2699—2709.
  60. *Macdonell R.A., Jachson G.K., Curatalo J.M. et al.* Motor cortex localization using functional MRI and transcranial magnetic stimulation // *Neurology.* — 1999. — V.53, №7. — P.1462—1467.
  61. *Makabe T., Edmister W.B., Jenkins B.G. et al.* Brain structures of reading Japanese words with functional MRI // *Nippon Rinsho.* — 1997. — V.55, №7. — P.1699—1705.
  62. *Maldjian J., Atlas S.W., Howard R.S. et al.* Functional magnetic resonance imaging of regional brain activity in patients with intracerebral arteriovenous malformations before surgical of endovascular therapy // *Neurosurg.* — 1996. — V.84. — P.477—483.
  63. *Matthews P.M., Clare S., Adcock J.* Functional magnetic resonance imaging. Clinical applications and potential // *J.Inherit. Metab. Disease.* — 1999. — V.22, №4. — P.337—352.
  64. *Menon R.S., Luknowshy K.C., Gati J.S.* Mental chromometry using latency — resolved functional MRI // *Proc. Natl. Acad. Sci.USA.* — 1998. — V.95, №18. — P.10902—10907.
  65. *Mueller W.M., Yetkin F.Z., Hammeke T.A. et al.* Functional magnetic resonance imaging mapping the motor cortex in patients with cerebral tumors // *Neurosurgery.* — 1996. — V.39. — P.515—521.
  66. *Nakada T., Fujii Y., Susuki K., Kwee I.L.* “Musical brain” revealed by highfield (3 Tesla) functional MRI // *Neuroreport.* — 1998. — V.9, №11. — P.3853—3856.
  67. *Nimsky C., Ganslant K., Kober H. et al.* Integration of functional magnetic resonance imaging supported by magnetoencephalography in functional neuronavigation // *Neurosurgery.* — 1999. — V.44, №6. — P.1249—1255.
  68. *Nitschke M.F., Melchert U.H., Hahn C. et al.* Preoperative functional magnetic resonance imaging (fMRI) of the motor system in patients with tumors in the parietal lobe // *Asta Neurochir.* — 1998. — V.140, №12. — P.1223—1229.
  69. *Ngawa S., Lee T., Kay A., Tank K.W.* Brain magnetic resonance imaging with constant dependent on blood oxygenation // *Prog.Natl.Acad.Sci.USA.* — 1990. — V.87. — P.9868—9872.
  70. *Ngawa S., Lee T.N., Nayak A. et al.* Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging of rodent brain mapping with magnetic resonance imaging /



- / Magn.Reson.Med. — 1990. — V.14. — P.68—78.
71. *kgawa S., Melon S., Tank W. et al.* Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging // *Biophys.J.* — 1993. — V.64. — P.803—812.
  72. *kgawa S.K., Tank K.W., Menon R.S. et al.* Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping using MRJ // *Proc.Natl.Acad.Sci.USA.* — 1992. — V.89. — P.5951—5955.
  73. *Parke K., Hellmann T., Renger B. et al.* Clinical applications of functional MRJ at 1,0 T: motor and language studies in healthy subjects and patients // *European Radiology.* — 1999. — VI, №2. — P. 211 — 220.
  74. *Porro C.A., Francescato M.P., Cettolo V. et al.* Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study // *J.Neurosci.* — 1996. — V.16. — P.7688—7693.
  75. *Rao S.M., Binder J.R., Bondetlini P.A. et al.* Functional magnetic resonance imaging of complex human movements // *Neurology.* — 1993. — V.43. — P.2311—2318.
  76. *Rao S.M., Binder J.R., Hammeke T.A. et al.* Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging // *Neurology.* — 1995. — V.45. — P.919—924.
  77. *Roberts T.P., Zusman E., Mc Kermott M. et al.* Correlation of functional magnetic source imaging with intraoperative cortical stimulation in neurosurgical patients // *J. Image Guid. Surg.* — 1995. — V.1, №6. — P.339—347.
  78. *Rombouts Serge A.R.B., Barkhof F., Veltman K.J. et al.* Functional MRI imaging in Alzheimer's disease during memory encoding // *AJNR.* — 2000. — V.21, №10. — P.1869—1875.
  79. *Rossini P.M., Caltagirone C., Castriota-Scanderberg A. et al.* Hand motor cortical area reorganization in stroke: a study with fMRJ, MEG and TCS maps // *Neuroreport.* — 1998. — V.22, №9. — P.2141—2146.
  80. *Roux F.E., Boulanouar K., Ibarrola K., Berry I.* Practical role of functional MRI in neurosurgery // *Neurochirurgie.* — 2000. — V.46, №1. — P.11—22.
  81. *Poux F.E., Boulanouar K., Ranjeva J.P. et al.* Usefulness of motor functional MRI Correlated to cortical mapping in Rolandic Low-grade astrocytomas // *Acta Neurochir.* — 1999. — V.141, №1. — P.71—79.
  82. *Roux F.E., Ranjeva J.P., Boulanouar K. et al.* Motor functional MRI for presurgical evaluation of cerebral tumors // *Stereotact.Funct.Neurosurg.* — 1997. — V.68, № 1—4. — P.106—111.
  83. *Sabatini U., Boulanouar K., Fabre N. et al.* Cortical motor reorganization in akinetic patients with Parkinson's disease: a functional MRI study // *Brain.* — 2000. — V.123, №2. — P.394—403.
  84. *Schneider W., Casey B.J., Noll K.* Functional MRI mapping stimulus rate effects across visual processing stages // *Hum.Brain Mapp.* — 1994. — V.1 — P.117—133.
  85. *Schulder M., Maldjian J.A., Liu W.C. et al.* Functional MRI image-guided surgery of intracranial tumors located in or near the sensorimotor cortex // *J.Neurosurg.* — 1998. — V.89, №3. — P.412—418.
  86. *Schulder M., Vega J., Nazza V. et al.* Functional magnetic resonance imaging and radiosurgical dose planning // *Stereotact. Funct. Neurosurg.* — 1999. — V.73, №1—4. — P.38—44.
  87. *Shaywitz B.A., Pugh K.R., Constable R.T. et al.* Localization semantic processing using functional magnetic resonance imaging // *Hum. Brain Mapp.* — 1995. — V.2. — P.149—158.
  88. *Shaywitz B.A., Shaywitz S.E., Pung K.R. et al.* Sex differences in the functional organization of the brain for language // *Nature.* — 1995. — V.373. — P.607—609.
  89. *Shiino A., Morita Y., Ito R. et al.* Functional MRI of the human brain responses to olfactory stimulation // *No Shinkei Geka.* — 1999. — V.27, №12. — P.1105—1100.
  90. *Takahashi C., Minowa K., Kaneko K. et al.* Functional MRI of mastication // *Riv.neuroradiol.* — 1998. — V.11, №2. — P.145—148.
  91. *Tartoro A., Antonazzo R., Ke Matthaeis P. et al.* rrganizzazione delta corteccia somatosensoriale secondaria. Studio con rrisenanza magnetica funzzionale // *Rev.neuroradial.* — 1999. — V.12, №4. — P.509—514.
  92. *Thompson R.M., Jack C.R., Butts K. et al.* Imaging of cerebral activation at 1,5 T: optimizing technique for conventional hardware // *Radiology.* — 1994. — V.190. — P.873—877.
  93. *Tortora G., KiSalle F., Bali M. et al.* fMRI study of silent word production. // *Abstr.Loth European Congress of Radiology.* — ECR'97. — Viena, Austria, 1997. — P.725.
  94. *Turner R., Jazzard P., Wen H. et al.* Functional

- mapping of the human visual cortex at 4 and 1,5 T using deoxygenation contrast EPI // *Magn.Reson.Med.* — 1993. — V.29. — P.277—279.
95. *Tyszka J.M., Grafon S.T., Chew W. et al.* Parceling of medial frontal motor areas during ideation and movement using functional magnetic resonance imaging at 1,5 tesla // *Ann.Neurol.* — 1994. — V.35. — P.746—749.
96. *Witt T.C., Kondziolka K., Baumann S.B. et al.* Preoperative cortical localization with functional MRI for use in stereotactic radiosurgery // *Stereotact. Funct. Neurosurg.* — 1996. — V.66, №1—3. — P.24—29.
97. *Yamado H.* Brain functional MRI of the visual cortex with echo planar imaging // *Nippon Rinsho.* — 1997. — V.55, №7. — P.1684—1687.
98. *Yousry T.A., Schmid U.K., Jassy A.G. et al.* Tomography of the cortical hand area: prospective study with functional MR imaging and invasive cortical mapping at surgery // *Radiology.* — 1995. — V.195. — P.23—29.
99. *Yousry T.A., Schmid U.K., Jassy A.G. et al.* Tomography of the cortical motor hand area: prospective study with functional MR imaging and direct motor mapping at surgery // *Radiology.* — 1995. — V.195. — P.23—29.
100. *Zeineh M.M., Engels S.A., Bookheimer S.Y.* Application of cortical unfolding techniques to functional MRI of the human hippocampal region // *Neuroimage.* — 2000. — V.11, №1. — P.668—683.

Функціональна магнітно-резонансна  
 томографія головного мозку і її діагностичне  
 значення  
 (огляд літератури)

Чувашова О.Ю.

Наведено огляд методу та результати аналітичного аналізу наукових відомостей, присвячених функціональній магнітно-резонансній томографії за 1990—2000 рр. Розглянуто питання щодо основ фМРТ, достовірності отриманих результатів, застосування тест-завдань і зони активації у сенсомоторній, мовній, зоровій і інших ділянках кори головного мозку. Приведено низку захворювань нервової системи, за яких з діагностичною метою використовується метод фМРТ в характеристиці основних функцій мозку при його вогнищевих ураженнях.

Functional magnetic-resonance imaging of the  
 brain and its diagnostical importance

Chuvashova O.Y.

Review of method and analytical analysis of scientific information about functional magnetic-resonance imaging in 1990—2000 years was resulted. Questions about fMRI, authenticity of obtain results, applied paradigms and regions of activation in sensorimotor cortex, language function, visual function and other cortical brain areas was considered. We examine several disorders of CNS, in which fMRI was used with diagnostical aim. We consider importance fMRI method in brain functions characteristics at focal lesions of CNS.