

MRT DIAGNOSTICS AND COMPUTER ANALYSIS
Makarov L.M.¹, Pozdnyakov A.V.² (Russian Federation)
Email: Makarov559@scientifictext.ru

¹Makarov Leonid Mikhaylovich - PhD in System analysis, Associate Professor,
DEPARTMENT OF DESIGNING AND PRODUCTION OF RADIO-ELECTRONIC MEANS,
ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS OF THE PROF. M.A. BONCH-BRUYEVICH;

²Pozdnyakov Alexander Vladimirovich - Doctor of medical sciences, Professor,
DEPARTMENT OF MEDICAL BIOPHYSICS,
ST. PETERSBURG STATE PEDIATRIC MEDICAL UNIVERSITY,
ST. PETERSBURG

Abstract: the procedure of magnetic resonance tomography of structures of children's brain, providing the formation of exclusive zones of interest, is considered and the procedure of synthesis of information model, providing the calculation of quantitative indicators of similarity of neural structures is proposed. On the basis of the results of clinical studies of cerebral palsy, formal rules for the identification of defective neural structures of the brain are introduced, for which computational mathematical operators for the formation of comparative assessments of the diagnostic conclusion are a priori implemented.

Keywords: MRT research, defects of neural structures, computer information model.

МРТ ДИАГНОСТИКА И КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ
Макаров Л.М.¹, Поздняков А.В.² (Российская Федерация)

¹Макаров Леонид Михайлович – кандидат технических наук, профессор,
кафедра конструирования и производств радиоэлектронных средств,
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;

²Поздняков Александр Владимирович – доктор медицинских наук, профессор,
кафедра медицинской биофизики,
Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация: рассмотрена процедура магнитно-резонансной томографии структур детского головного мозга, обеспечивающая формирование эксклюзивных зон интереса, и предложена процедура синтеза информационной модели, обеспечивающей вычисление количественных показателей подобия нейронных структур. На основе результатов клинических исследований детского церебрального паралича введены формальные правила идентификации дефектных нейронных структур головного мозга, для которых априорно реализуются вычислительные математические операторы формирования сравнительных оценок диагностического заключения.

Ключевые слова: МРТ исследование, дефекты нейронных структур, компьютерная информационная модель.

УДК 577.3 + 616

Развитие методов медицинской диагностики неразрывно связано с успехами приобретения новых знаний посредством информационных и компьютерных технологий. Наличие хорошего теоретического физического обоснования для методов медицинской диагностики, способствует широкому использованию математических методов анализа результатов клинического исследования. Необходимость использования разностороннего списка математических методов анализа продиктована не только наличием обширного информативного поля результатов, но и сложностью терминологического поля понятий и определений нормы и патологии. Эти представления в значительной степени усиливаются при работе с нейронными структурами, например, головным мозгом.

Одним из хорошо известных на практике методов исследования структур головного мозга является магнитная резонансная томография (МРТ), реализуемая на основе компьютерной техники. Сочетание физических принципов организации исследования биологических тканей, с обширными возможностями организации вычислительных процедур, позволяет получать новые знания о функциональных процессах нейронных структур. Выделяя различные возрастные категории нейронных структур, относимых к головному мозгу, большое внимание уделяется ранней стадии формирования отделов головного мозга. Актуализация этой проблемы, с активной разработкой методов анализа результатов МРТ, позволяет на ранней стадии формирования будущего организма сформулировать важные для практики суждения и наметить методы и средства профилактики.

Одним из распространенных нарушений структур головного мозга (ГМ) является детский церебральный паралич (ДЦП), который в этимологическом отношении полностью относят к нарушению централь-

ной нервной системы. По современным информационным источникам знаний такое нарушение сопряжено с большим набором вредных для организма факторов, результатом действия которых являются нарушения моторики двигательной системы и обширной сенсорной сети, что в целом способствует проявлению когнитивных нарушений.

Несмотря на наличие большого количества исследований и хорошо развитый сервисный аппарат получения финишных результатов МРТ, как в формате изображений, так и в виде массивов данных, вопрос о четких правилах идентификации нормального и патологического состояния нейронных структур остается на стадии дискуссии.

Основная проблема решения диагностической задачи, в известном отношении, соотносится с необходимостью наличия информационной модели структурных отделов ГМ, которые располагаются в черепе. Используя типичные понятия, установлено, что кора ГМ позиционируется как многоуровневая функционально важная система, обладающая определенной степенью подобия у многих млекопитающих и животных. Такая система представлена серым веществом, находящимся в пространстве гемисфер – полушарий черепа. Структура ГМ представлена нейронной сетью, которая контролирует важные функции и процессы, протекающие во всем организме. Гемисферы мозга расположены в черепной коробке и занимают примерно 78% всего пространства. В структурном отношении гемисферы представлены белым веществом, которое содержит длинные миелиновые аксоны нервных клеток. Снаружи гемисферы покрыты корой мозга, представленной нейронной структурой, элементами которой являются глиальные волокна. Стереометрия гемисфер создается на основе общих анатомических представлений о полушариях, как отдельных частей сферы. Эти представления достаточно просто трансформируются в набор анатомических определений и понятий, основы которых закладывались в философии древней Греции.

С точки зрения математики установлено, что сферическая поверхность полностью покрывается правильными многоугольниками только пяти видов, которые соотносят с пятью пространственными фигурами: тетраэдром, октаэдром, икосаэдром, гексаэдром и додекаэдром [2].

Додекаэдр построен из 12 равносторонних пятиугольников, обладает 12 гранями, 30 ребрами и 20 вершинами. Пространственный образ додекаэдра сопоставим с формой Земли. Множественные наблюдения, в том числе и с помощью космической техники позволяют констатировать наличие подобия формы Земли и пространственному образу додекаэдра [2, 1]. Представление о соответствии создается по сетке структур из додекаэдров, накладываемой на поверхность Земли (рис. 1).

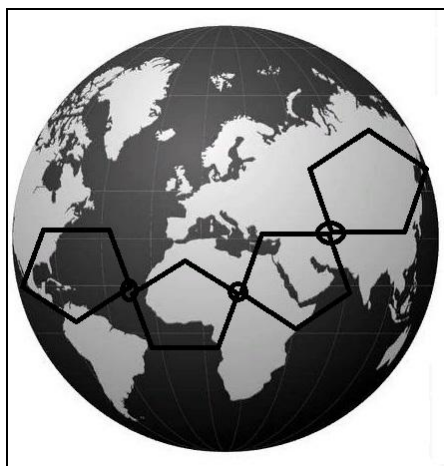


Рис. 1. Пространственный образ додекаэдра

Узловые точки пятиугольника, являющегося основой додекаэдра, отчетливо указывают на активные области планеты, где интенсивно проявляются различные по своей природе артефакты. Это области, в значительной степени, влияющие на эволюцию и климат планеты. Крупные аномалии в мантии и земной коре обусловлены именно трансформацией формы Земли в додекаэдр.

Эволюция биосферы сопряжена с многочисленными процессами на планете. Зарождение и развитие живого организма, как часть от целого большого процесса, повторяет синтез структурных элементов материальных объектов. Теоретические основы такого тезиса высказаны А. Пуанкаре в 1904 г. [2], а строгое математическое доказательство о подобии указанных процессов приведено в работе Г. Перельмана в 2003 г. [1].

С точки зрения математики топологические свойства геометрических фигур не изменяются при любых модификациях, производимых без разрывов и склеиваний. В этом смысле изучение свойств избранных структур, соотносимых с определенным классом объектов, можно транслировать на другой класс объектов. В случае правильных многогранников все многоугольники конгруэнтны, а, следовательно, посредством непрерывной деформации поверхности геометрической фигуры можно получить поверх-

ность сферы. Этот тезис обладает строгим математическим доказательством, полученным Л. Эйлером в 1730 г. [2].

Следуя этим представлениям живой организм, подобно структуре Земли, позиционируют жидким кристаллом, в форме додекаэдра. По факту это утверждение соответствует общей формулировке тезиса А. Пуанкаре, и одновременно с этим позволяет констатировать наличие взаимно однозначного соответствия между двумя отображениями топологических пространств, например, СГМ и додекаэдра. Такие отображения называют гомеоморфными, поскольку их образы топологически эквивалентны.

Сопоставление кристаллических структур разной физической природы представляется целесообразным, поскольку реализует универсальный принцип построения информационной модели получения новых знаний. Доступность исследования одного объекта, воспроизведенного в математической форме, позволяет синтезировать суждения о свойствах другого объекта, реально существующего в Природе.

Реальное осуществление такого процесса начинается с диагностической процедуры, основу которой составляет ядерно-магнитный резонанс (ЯМР), позволяющий получить массив данных. По установившейся в медицинской практике традиции, проводят обследование разных тканей организма, с целью выявления нарушения биологической структуры. Посредством специальной аппаратуры – ЯМР томографа, работающего под управлением компьютера, создаются диагностические фреймы – изображения. Современные информационные технологии позволяют конструировать пакет послойных изображений, а также проводить обобщенные вычисления результатов обследования по некоторому выделенному в интерактивном режиме визуальному полю, размеры которого устанавливает исследователь – врач.

В представляемой ниже подборке данных зафиксированы результаты обследования структур головного мозга (СГМ), соотносимые с установленным возрастом обследуемых. Табличные данные представляют общую (усредненную) компьютерную оценку по каждой из выбранных в интерактивном режиме областей СГМ. Важно отметить, что представленная подборка данных создана на основе симметричных структур и оперирует двумя категориями: норма и патология.

Результаты обследования СГМ представлены в размерности мм^3 , что в физической интерпретации указывает на наличие оценок объема нейронных структур ГМ [3]. Такое понятие о финишном результате создается на основе представлений о единичном элементе графического изображения – вокселе.

Воксел – прототип известного графического элемента пикселя - элементарной ячейки компьютерного образа на экране монитора. Воксель – представитель нового понятия синтеза графического образа средствами компьютерной графики. Если для пикселя, обычно рассматривающего растровый элемент изображения, и не более того, характерны линейные (плоские) размеры, то для вокселя важно знать все три пространственных показателя. Иначе говоря, оперируя понятием воксель следует использовать методологию анализа изображений, исключительно трех мерной графики.

Современные вычислительные технологии по 3D графике оперируют двумя понятиями многочленов, специальных модельных функций, позволяющих «формировать» пространственное представление об исследуемом объекте. Для этих целей реализуют математические зависимости (модели) обладающие свойством обрисовки контуров объекта, либо математические модели обладающие свойством описания внутренней структуры объекта с учетом наблюдаемого внешнего образа или контура. Внутренняя структура объекта создается на основе мелких элементов, задаваемых программным способом в трехмерном пространстве ($1 \times 1 \times 1 \text{ [мм}^3\text{]}$).

Принимая это во внимание, можно говорить о некоторой пространственной сцене, где набор текущих событий на клеточном уровне, инициализируемых методом ЯМР, отождествляется с пространственным объемом избранной нейронной структуры ГМ, и фиксируется количественным показателем в единицах объема (мм^3).

Целью данного исследования являлось определение возможности построения информационной модели для диагностики двухсторонних спастических форм детского церебрального паралича у детей в возрасте от 1 года до 4,5 лет.

Принимая во внимание высокую скорость получения количественных показателей по всем отделам ГМ и малые анатомические объемы обследуемых нейронных структур, в качестве основной проблемы рассматривается задача формирования правила идентификации «нормальных» и «патологических» структур ГМ. Решение поставленной задачи можно рассматривать в качестве основы создания прогноза событий по естественному развитию СГМ ребенка [4].

Полагаем наличие соответствия СГМ додекаэдру (рис. 2). Последовательность этапов формирования данных обследования и получения финишных оценок представлено на рис. 3. Исходные данные обследования СГМ методом ЯМР, представлены в таблице 1.

Рабочие процедуры современных аппаратов ЯМР обеспечивают использование интерактивного управления процессом выбора зон интереса и формированием необходимых аналитических показателей, отражающих объемные свойства исследуемых биотканей. Наличие таких сервисных процедур позволяет получить набор изображений, анализ которых традиционно проводится с участием специальных программных продуктов.

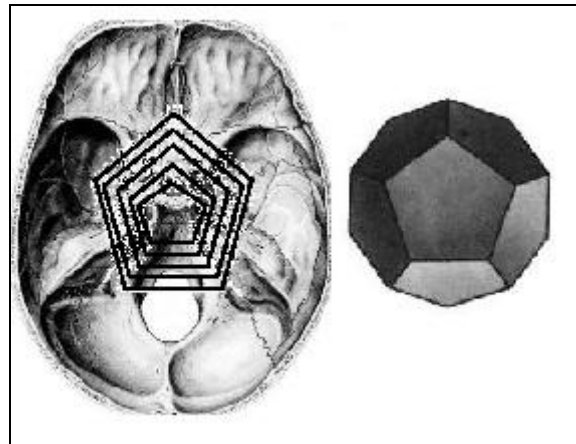


Рис. 2. Схема совмещения информационных образов

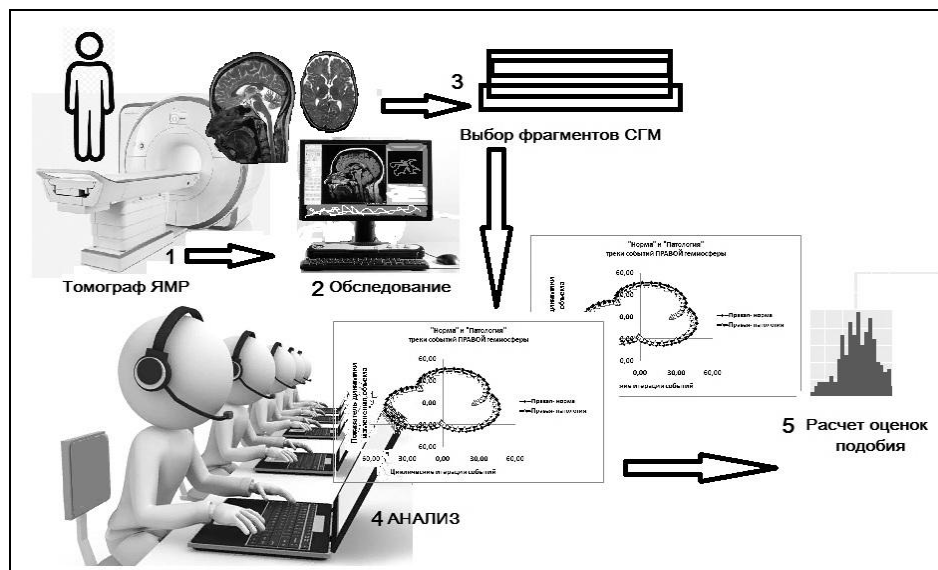


Рис. 3. Общая схема формирования результатов исследования

Таблица 1. Средние значения (медиана) объема мозговых структур у детей с ДЦП (n=20) и детей группы сравнения (n=7).

№	Анатомическая структура	Объем структуры, (мм ³) Пациенты с ДЦП (n=20)	Объем структуры, (мм ³) Группа сравнения (n=7)	Анатомическая структура	Объем структуры, (мм ³) Пациенты с ДЦП (n=20)	Объем структуры, (мм ³) Группа сравнения (n=7)
1.	Белое вещество, правая гемисфера	126901,15	164719,1	Белое вещество, левая гемисфера	123735,748	162564,9
2.	Правый боковой желудочек	8009,2	4704,8	Левый боковой желудочек	9434,5	3604,9

Проведем вычисление показателей додекаэдра, соотносимых с СГМ по выражениям:

- оценка объема задается выражением:

$$V = \frac{a^3}{4} (15 + 7\sqrt{5}) \approx 7,66a^3 \quad (1)$$

Где а соответственно размер ребра вычисляется по выражению:

$$a = \sqrt[3]{\frac{V}{7.66}} \quad (2)$$

- а площадь поверхности вычисляется по выражению:

$$S = 3a^2 \sqrt{5(5 + 2\sqrt{5})} \approx 20,65a^2 \quad (3)$$

Наличие исходных данных обследования позволяет сформировать пару показателей:

$$R = a_{ur} = \frac{V}{S} \quad (4)$$

Представленные показатели используем для создания модели на основе известного уравнения эпициклоиды.

$$\begin{aligned} X(t) &= (R+r)\cos(t) - r\cos\left(\frac{R+r}{r}t\right) \\ Y(t) &= (R+r)\sin(t) - r\sin\left(\frac{R+r}{r}t\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Где t - вариативный циклический показатель модели развертки событий трансформации СГМ на установленном временном интервале, характеризуемым областью определения $\{0-2\pi\}$ и массивом $P = [x_i, y_i]$

Показатель подобия (различия) определяем по выражению:

$$Q = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + \dots + (x_{1n} - x_{2n})^2 + (y_{1n} - y_{2n})^2} \quad (6)$$

Где x_i и y_j значения из массива $P = [x_i, y_i]$

Используя выражение (5) проведем расчеты и построение образов СГМ в соответствии с данными таблицы 1. Полученные результаты прокомментируем, с целью установления общих понятий и определений.

Первый образ СГМ (*Белое вещество, правая гемисфера*) представлен на рис. 4.

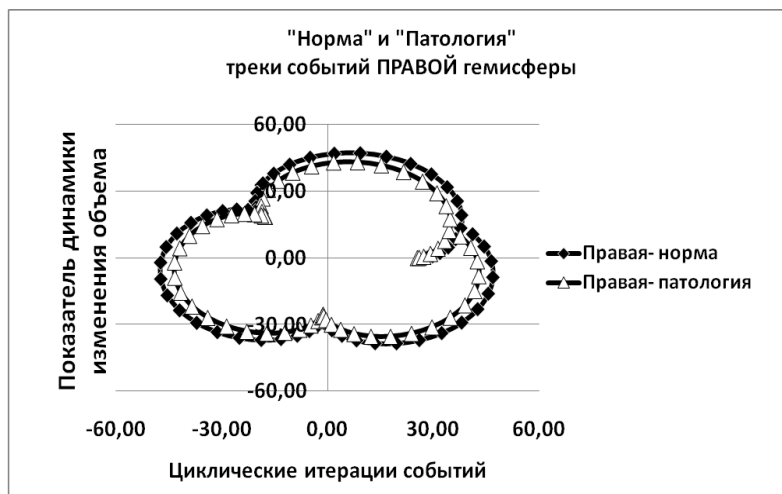


Рис. 4. Траектории событий правой гемисферы

Отметим, что данная структура СГМ представлена симметричными фрагментами в ГМ. Именно поэтому проводится сравнение, сначала по правым фрагментам, а затем по левым фрагментам ГМ. Визуальный анализ пары образов указывает на более высокую интенсивность процессов модификации нейронной структуры в позиции «Норма», чем в позиции «Патология». Используя выражение (6) получим расчетное значение различия (подобия) $\Omega=26,638$ по длине линии периметра образа.

Второй образ СГМ (*Белое вещество, левая гемисфера*) представлен на рис. 5.

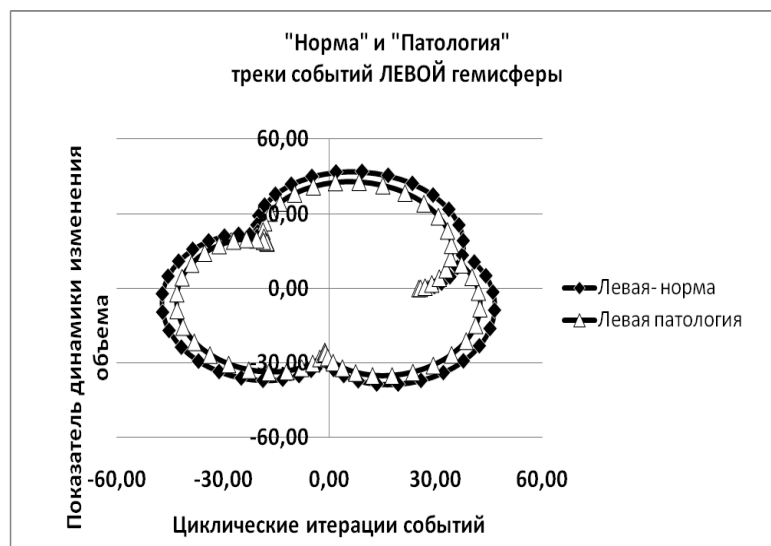


Рис. 5. Треки событий левой гемисферы

Здесь уместны аналогичные пояснения, а расчетный показатель равен - $\Omega=27,696$. Объединяя полученные пояснения, следует признать наличие подобия в образах «Патологии» правого и левого фрагмента гемисфер.

Третий образ (*Правый боковой желудочек*) представлен на рис. 6. Это также парный фрагмент СГМ. Проводилось сопоставление двух «нормальных» и двух «патологических» фрагментов. Парное сопоставление фрагментов убедительно демонстрирует наличие существенных различий в структурах, которое представляется возможным оценить количественно по показателю $\Omega=27,696$.

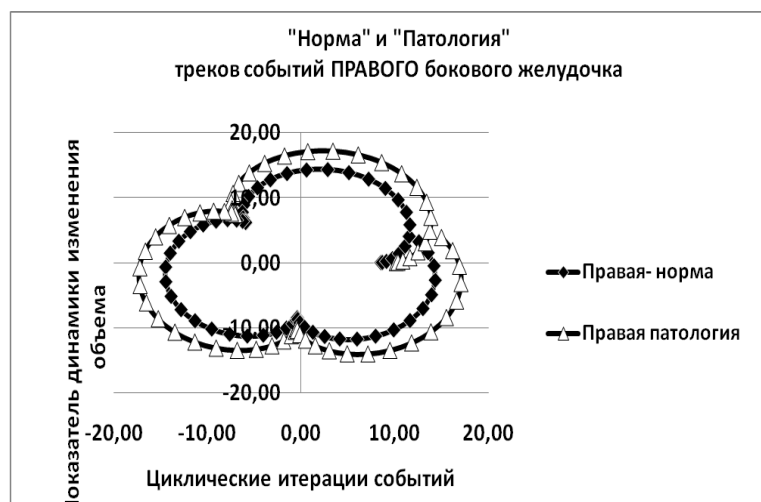


Рис. 6. Треки событий правого бокового желудочков

Аналогичные построения и расчет для левого бокового желудочка (рис. 7) указывает на большее различие в показателе $\Omega=33,831$.

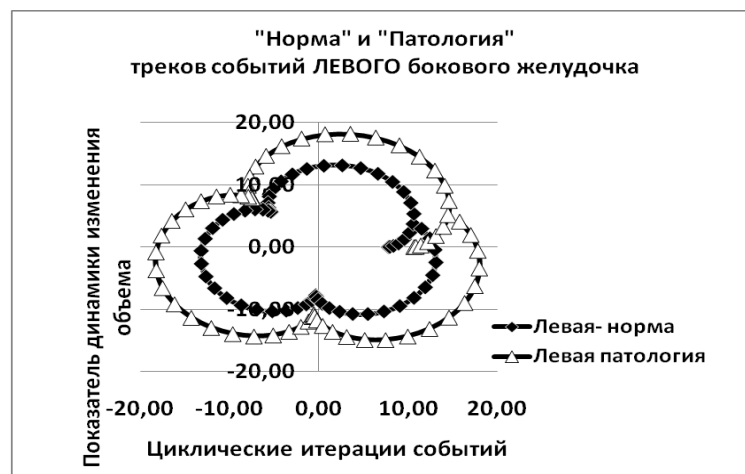


Рис. 7. Треки событий левого бокового желудочков

Значительный практический интерес, проявляемый к МРТ, в значительной степени обусловлен высокой технологичностью проведения различных исследований. Наряду с этим необходимость использования дополнительных методов, ориентированных на интерпретацию результатов исследования, актуализирует проблему формирования физически понятных исследователю оценок нейронных структур головного мозга.

В представленном материале работы использованы фундаментальные естественнонаучные концепции формирования моделей динамических процессов, фиксируемых современными техническими средствами, которые обеспечивают изучение эволюционных изменений в биологической ткани организма. Представленная информационная модель идентификации различий в строении нейронных структур головного мозга обладает возможностью конструировать наглядные образы и, одновременно с этим, реализует вычислительные процедуры по созданию количественных показателей подобия (различия) анализируемых фрагментов биологической ткани. Указанные вычислительные процедуры позволяют априорно формировать суждения об эволюции нейронных структур головного мозга.

Список литературы / References

1. Арсенов О. Григорий Перельман и гипотеза Пуанкаре. Эксмо, 2010.
2. Пуанкаре А. Избранные труды, том 2. М.: Наука, 1972.
3. КТ- и МРТ- визуализация головного мозга. Подход на основе изображений Антология, МЕДпресс-информ. 2016.
4. Макаров Л.М., Поздняков А.В., Мелашенко Т.В., Александров Т.А., Тацилкин А.И. «МРТ головного мозга в онтогенезе плода новорожденного - диагностическая основа модели диссипативных систем», 2017.