

MRI OF BRAIN IN THE ONTOGENESIS OF THE NEWBORN – THE DIAGNOSTIC BASIC OF THE MODEL OF DISSIPATIVE SYSTEMS

Makarov L.M.¹, Pozdnyakov A.V.², Melashenko T.V.³, Alexandrov T.A.⁴,
Tashchilkin A.I.⁵ (Russian Federation) Email: Makarov535@scientifictext.ru

¹Makarov Leonid Mikhailovich - PhD in technology, Associate Professor,
DEPARTMENT OF AUTOMATION OF COMMUNICATION ENTERPRISES, FACULTY INFORMATION
TECHNOLOGY,
UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS;

²Pozdnyakov Aleksandr Vladimirovich - Doctor of Medical Sciences, Professor;

³Melashenko Tatiana Vladimirovna – PhD in Medical, Clinical physician;

⁴Alexandrov Timofey Alexandrovich - Clinical physician;

⁵Tashchilkin Alexey Ivanovich - Clinical physician,

DEPARTMENT OF MEDICAL BIOPHYSICS,
PEDIATRIC MEDICAL UNIVERSITY,
ST. PETERSBURG

Abstract: the article deals with the problem of analyzing the results of examination of brain structures by the method of magnetic resonance tomography. Physical and technical basis for studying the structures of the brain, taking into account the use of an interactive computerized analysis of the results. The main provisions of the thermodynamic model created in the basis of dissipative systems and realizing the process of computer analysis of tomograms are determined. Priority directions of visual and hardware control of formation of structural departments of the brain are established. A computational computer procedure for analyzing the data of examination of brain structures is proposed on the basis of an iterative algorithm that realizes the search for pathological areas of the human brain. Clinical approbation of the method was carried out.

Keywords: MRT, inspection data set, algorithm detection of defects of neural tissue of brain.

МРТ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ОНТОГЕНЕЗЕ ПЛОДА НОВОРОЖДЕННОГО – ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛИ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМ

Макаров Л.М.¹, Поздняков А.В.², Мелашенко Т.В.³, Александров Т.А.⁴,
Тащилкин А.И.⁵ (Российская Федерация)

¹Макаров Леонид Михайлович – кандидат технических наук, профессор,
кафедра автоматизации предприятий связи,
Университет телекоммуникаций;

²Поздняков Александр Владимирович – доктор медицинских наук, профессор;

³Мелашенко Татьяна Владимировна – кандидат медицинских наук, врач;

⁴Александров Тимофей Александрович – врач;

⁵Тащилкин Алексей Иванович - врач,

кафедра медицинской биофизики,
Педиатрический медицинский университет,
г. Санкт Петербург

Аннотация: в статье рассматривается проблема анализа результатов обследования структур головного мозга методом магнитной резонансной томографии. Физические и технические основы исследования структур головного мозга с учетом использования интерактивного компьютерного режима анализа результатов. Определяются основные положения термодинамической модели, созданной в базе диссипативных систем и реализующей процесс компьютерного анализа томограмм. Установлены приоритетные направления визуального и аппаратного контроля формирования структурных отделов головного мозга. Предложена вычислительная компьютерная процедура анализа данных обследования структур головного мозга на основе итерационного алгоритма, реализующего поиск патологических участков головного мозга человека. Проведена клиническая апробация метода.

Ключевые слова: МРТ, набор данных обследования, алгоритм обнаружения дефектов нейронной ткани головного мозга.

Современные методы исследования структур головного мозга (СГМ) основываются на использовании сложных аппаратных и программных комплексов (1). Типичным исследованием является формирование изображений СГМ с помощью томографа. Магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет

проводить прижизненные исследования различных анатомических структур головного мозга и получать высококачественные томограммы.

Физические основы МР-исследований позволяют сформировать несколько важных суждений о динамике функционирования нейронных структур и обменных процессах, протекающих в них. Относительно высокая скорость получения данных исследования позволяет накапливать важный для практики материал диагностических суждений, который дополняется компьютерным анализом.

Понятие функционального процесса биологической системы создается на основе клеточных моделей, где большое внимание уделяется мембранным эффектам, формирующих представление о диффузии, биохимических потоках и энергетическом гомеостазисе.

Энергетические процессы типичных клеток избирательно направлены на преобразование материальных ресурсов в конструктивные элементы организма. Большое количество специфических процессов формирования конструктивных элементов организма, и одновременно, наличие их подобия, создает предпосылки формирования суждения об универсальности биосинтеза. Такое представление хорошо отражается в различных моделях, демонстрирующих адекватность математических представлений с реальными биологическими процессами.

В основе многих математических моделей синтеза клеточных структур рассматривается понятие баланса, в частности, энергетических затрат на поддержку гомеостазиса. С течением времени, с учетом развития организма и прибавлением биомассы энергетические затраты увеличиваются. Потребность организма увеличивать энергоресурс, с целью поддержки жизненно важных подсистем организма, организации клеточного метаболизма и формирования адекватных реакций на внешние факторы порождает формирование управляющей системы.

Роль такой системы, воспринимающей как внешние, так и внутренние факторы, обладающей способностью анализировать и перераспределять энергетические ресурсы организма выполняют нейронные структуры головного мозга.

На ранних этапах онтогенеза при формировании СГМ отчетливо проявляется специфичность построения отдельных участков. Следуя общим теоретическим представлениям о возможности энергетического обеспечения отдельных подсистем организма, в соответствии с теорией диссипативных систем, в многочисленных исследованиях установлен факт о дробно-временном расходе энергетических ресурсов при развитии головного мозга в онтогенезе [3].

С позиции математической модели, формирующей представление о динамике синтеза биоткани, в том числе и структур мозга человека, представляет интерес обращение к рассмотрению результатов исследования СГМ, полученных на основе МРТ.

Принимая в качестве основы живой организм как жидкостно-кристаллическую структуру, основу которой составляет вода, метод МРТ позволяет зафиксировать структурные особенности клеточных кластеров и динамику смены функциональных состояний. Выделение клеточных кластеров головного мозга (ГМ), рассматриваемых как отдельные структурные элементы, осуществляется на основе анализа данных обследования.

Головной мозг человека представлен различными элементами – кластерами, которые в магнитном поле томографа формируются в специфические фрагменты на общем снимке - изображении. Кластеры, как анатомические элементы структур мозга, визуализируются на снимке. Эта особенность МРТ исследования позволяет выделить зоны интереса для изучения, а аналитический инструментарий компьютерной обработки изображения СГМ обеспечивает получение цифрового массива данных.

В интерактивном режиме вычислительного комплекса МРТ на томограмме (изображении СГМ) выделяются зоны интереса (рис. 1).

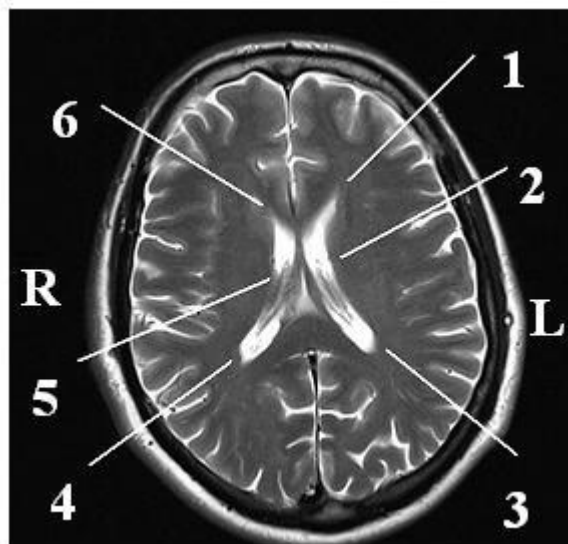


Рис. 1. Томограмма СГМ. Зоны интереса, где: 1- передний левый аксиальный элемент (ПЛАЭ); 2 – левый центральный элемент (ЛЦЭ); 3- задний левый аксиальный элемент (ЗЛАЭ); 4- задний правый аксиальный элемент (ЗПАЭ); 5- правый центральный элемент (ПЦЭ); 6- передний правый аксиальный элемент (ППАЭ)

В большинстве случаев это хорошо визуализируемые фрагменты структуры ГМ на томограмме, которые позиционируются в качестве зон интереса ($i = 6$). Например, желудочки. В анатомическом отношении желудочки представляют полости со спинномозговой жидкостью (ликвором). Различают правый (R) и левый (L) боковые желудочки (2), (5), имеющие передние (1), (6) и задние (3), (4) рога. Ликвор - биохимическая жидкость, которая обеспечивает обменные процессы, постоянство электролитного состава и характеризующаяся определенным давлением.

Томограммы, получаемые на медицинских томографах, создаются на основе эффекта ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). Физические основы эффекта обусловлены наличием заряда у всех химических элементов. При наложении внешнего магнитного поля на биологический объект, представляющий жидкокристаллическую структуру, возникает изменение состояния атомов водорода. Это обусловлено тем, что человеческое тело почти на 80% состоит из воды, содержащей атомы водорода с положительно заряженными протонами с нулевым спином. Естественная прецессия протона, обладающего зарядом, поддерживается неравным количеством нуклонов. Этот эффект в физике принято рассматривать как кольцевой ток, который индуцирует слабое магнитное поле нейронной ткани. Постулируя наличие такого магнитного поля, создается представление о физическом диполе. Эти суждения позволяют рассматривать ядра всех химических элементов как диполи.

В таком случае, помещая биологический объект в магнитное поле томографа, инициализируется эффект прецессии, где скорость смены состояний ядра зависит от величины напряженности магнитного поля.

Если в последующем исследуемый биообъект облучить радиоволной, то при равенстве частоты радиоволны и частоты прецессии наступит резонансное поглощение энергии радиоволны «замгниченными» ядрами. После прекращения действия радиоизлучения на биообъект ядра атомов будут переходить в первоначальное состояние (релаксировать), при этом энергия, накопленная при облучении, будет высвобождаться в виде электромагнитного излучения, которое регистрируется специальными детекторами томографа. Многократное проведение такой процедуры позволяет получить статический набор показателей по разным участкам ГМ. Среднее значение показателя характеризует свойство биоткани.

Рассмотренные физические принципы позволяют использовать типовые конструкции томографов на основе эффекта ЯМР, которые создают компьютерные цифровые массивы данных, подлежащих анализу.

Исследование СГМ плода на 20 неделе и более поздней стадии представляется актуальной проблемой, раннего обнаружения процессов формирования патологических элементов СГМ [3].

Процедура обнаружения патологических элементов СГМ создается на основе термодинамической модели. В основе модели рассматривается постулат о наличии энергетических процессов преобразования материальных ресурсов в биохимические субстраты, с учетом специфичности свойств биоткани, располагающейся в разных участках СГМ [2]. Формально, это достаточно простой тезис, находящий адекватную аргументацию даже на уровне зрительного восприятия изображений – томограмм. При

визуальном анализе томограммы отчетливо проявляются отдельные зоны интереса СГМ, например, такие, как указано, было на рис. 1.

Закрепим это представление с учетом концепции модели диссипативных систем. Постулируем наличие различий в физических свойствах биотканей на основе ЯМР исследований. Действительно, обнаружение отличий элементов СГМ следует ожидать по причине различного строения биологических клеток, а фактически в силу различия материальных и энергетических потенциалов, требующихся для синтеза данного вида клеточных структур. Указанные особенности формирования биоткани хорошо проявляются при использовании метода МРТ. В рамках рассматриваемой модели следует указать, что все материально-энергетические процессы в живом организме являются дробными, реализующимися отдельными актами, образующими цепь событий, характеризующихся определенной продолжительностью. Формально, для каждого события по синтезу биоткани всегда можно указать определенную продолжительность, такую, что при установленных условиях реализации имеет конкретное значение.

С точки зрения биологической термодинамики это суждение достаточно полно характеризует специфику процесса синтеза различных биологических тканей [2, 3]. Принимая во внимание тот факт, что магнитное поле томографа специфическим образом воздействует на атомы водорода, различным образом представленных в строительном материале клетки, метод МРТ позволяет сформировать массив данных цифрового изображения. Эта процедура реализуется посредством облучения клеток радиоизлучением заданной частоты. Под воздействием радиоизлучения атомы водорода получают дополнительную энергию. Запускается процесс прецессии. Возврат в начальное состояние происходит при условии излучения в окружающее пространство малых порции энергии. Дробный характер этого процесса специфичен для разных групп клеток.

Используя возможности интерактивной компьютерной обработки изображения, осуществляют выделение интересующих зон, сопоставимых с известными анатомическими фрагментами ГМ. Наличие цифрового массива данных и визуального образа клеточной структуры ГМ позволяет оперировать геометрическими понятиями: линейными размерами фрагментов изображения и средним значением интенсивности излучения, регистрируемого детекторами томографа.

Такая интерпретация физического процесса регистрации ЯМР на биологическом объекте отчетливо указывает на взаимную обусловленность свойств биоткани с характеристикой регистрируемых от биообъекта радиоимпульсов.

Явление релаксации, можно рассматривать как период установления оптимального энергетического состояния группы клеток и оценивать промежутком времени (τ). В зависимости от биохимических свойств группы клеток, этот показатель меняется. Объединение близких показателей в группы, как по значению, так и по месту расположения на изображении, создает предпосылки для формирования предварительных суждений. Например, созданию оценки линейных размеров избранного участка.

Определение патологичных участков СГМ по результатам анализа томограммы, требует использования специальных программных продуктов, каждый из которых обладает уникальной информационной моделью интерпретации данных.

Рассмотрим информационную модель энергетического состояния единичного объема клеточной биоткани. Структура объема заполнена атомами водорода, обладающего протоном. По законам квантовой механики протон обладает свойством, называемым спином. В общем случае полагаем, что спин протона, является вектором магнитного момента. В таком случае если на биологический объект действует постоянное магнитное поле томографа, то атомы водорода, а, следовательно, и все протоны, проявляют свойства элементарного магнита. Каждый такой магнит обладает северным и южным полюсом. Это своего рода элементарные диполи, которые под действием постоянного магнитного поля томографа принимают определенную ориентацию.

С точки зрения физики вектор магнитного момента протона подобен диполю. Когда протон помещен во внешнее магнитное поле томографа, вектор спина располагается как магнит, по отношению к внешнему полю. В случае, когда полюса всех магнитов расположены по схеме: N-S-N-S общее состояние биообъекта характеризуется как низкоэнергетическое. Иначе, когда реализуется схема: N-N-S-S общее состояние биообъекта характеризуется как высокоэнергетическое. Низкоэнергетическое состояние характеризуется малым значением энтропии и высокой упорядоченностью диполей. Для высоких значений энтропии характерна малая упорядоченность диполей. Очевидно, импульсное воздействие на биообъект радиоизлучения инициализирует процесс релаксации. С учетом факторов возмущения время релаксации (τ) позиционирует переменный параметр СГМ на томограмме.

В терминах и понятиях информационной модели параметр (τ) представляет обобщенную характеристику динамики атомарных процессов на клеточном уровне. В первом приближении выделяют временную константу, описывающую процесс перехода к равновесному состоянию, которую называют временем спин-решеточной релаксации (T_1). Этот показатель характеризуется экспоненциальной функцией.

Принимаем во внимание, что в действительности биообъект содержит множество атомарных диполей, с уникальными свойствами, Следствием этого тезиса является констатация различий свойств диполей, позиционируемых в биообъекте, как едином пакете. В таком случае пакет диполей обладает разными наборами фазовых запаздываний на действие внешних факторов. Это замечание надлежащим образом демонстрирует наличие уникальных свойств разных по строению биотканей.

Временная константа, учитывающая наличие фазовых запаздываний в пакете называется спин-спиновым временем релаксации, T_2 . Этот показатель характеризуется составной экспоненциальной функцией.

Используя положения биологической термодинамики для исследования методом МРТ можно рассматривать среднее значение времени (τ) , как продолжительности процесса релаксации, которое фиксируется детекторам томографа и позиционируется поддельным численным значением $\tau_i = f(T_1, T_2)$ на томограмме, с конкретными декартовыми координатами.

Понятия низкой и высокой энтропии состояния биообъекта позволяют установить область допустимых значений параметра (τ) . Положим: $1 < \tau_i < 1000$, где τ_i - численное значение события для i элемента на томограмме. В рассматриваемом случае имеет место $i = 6$

Модель, описывающую цепь событий изменения параметра (τ) , представим итерационным выражением:

$$\tau_i = \begin{cases} \tau_i / 2 \Rightarrow \text{Если } \tau_i \text{ четное} \\ \frac{3\tau_i + 1}{2} \Rightarrow \text{Если } \tau_i \text{ нечетное} \end{cases} \quad (1)$$

При условии:

$$\tau_i = \begin{cases} \text{ЕСЛИ } \tau_i = \tau_0 = 1 \Rightarrow \text{Стоп} \\ \text{ЕСЛИ } \tau_i \neq \tau_0 \Rightarrow \text{вычисления по выражению 1} \end{cases} \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) образуют цикл вычислений, который для каждого указанного значения (τ) заканчивается элементарным актом остановки вычислений, при условии. $\tau_i = \tau_0 = 1$. Для каждого начального элемента (τ) всегда найдется такое количество L событий, когда выполняется:

$$L / \tau_i = 1$$

В соответствии с рассматриваемой информационной моделью постулируем:

1. наличие уникальности отдельных элементов СГМ (кластеров);
2. наличие финишного элемента, характеризующего унитарное состояние кластера;
3. наличие возможности обнаружения на модели цепи событий одноуровневых двух и более единичных событий, которые отождествляются с патологией СГМ.

По результатам томографических исследований получены изображения СГМ – томограммы. На томограммах выделено шесть фрагментов, расположение которых указаны на рис.1, а количественные показатели (τ) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения параметра (τ) , установленные в интерактивном режиме по томограмме

№ томограммы	Элемент СГМ					
	1	2	3	4	5	6
	ПЛА Э	ЛЦЭ	Э	ЗЛА Э	ЗПА Э	ППА Э
1.	136	217	149	103	215	149

2.	148	253	241	155	169	151
3.	115	169	122	117	251	146

Проведем необходимые расчеты по выражениям (1) и (2). Результаты отобразим в табличной форме.

Таблица 2. Расчетные значения показателя L

Томограмма 1	Элемент СГМ					
	1	2	3	4	5	6
	ПЛА Э	ЛЦЭ	ЗЛА Э	ЗПА Э	ПЦЭ	ППА Э
Количество итераций /L/	15	26	23	87	101	23

Таблица 3. Расчетные значения показателя L

Томограмма 2	Элемент СГМ					
	1	2	3	4	5	6
	ПЛА Э	ЛЦЭ	ЗЛА Э	ЗПА Э	ПЦЭ	ППА Э
Количество итераций /L/	23	109	21	85	49	15

Таблица 4. Расчетные значения показателя L

Томограмма 3	Элемент СГМ					
	1	2	3	4	5	6
	ПЛА Э	ЛЦЭ	ЗЛА Э	ЗПА Э	ПЦЭ	ППА Э
Количество итераций /L/	33	49	20	20	65	116

Обсуждение результатов исследований проведем с учетом основных положений биологической термодинамики. Первый тезис, принятый в качестве основы адекватно отражает реальность анатомических и структурных различий разных участков СГМ. Второй тезис основывается на рассмотрении итерационной процедуры вычисления финишного элемента цепи моделируемых событий, при условии задания стартового значения (τ). В рамках рассматриваемой модели вычисление финишного элемента имитирует цепь событий длиной L , релаксационного процесса.

Третий тезис постулирует наличие патологических изменений в СГМ при условии обнаружения двух равных по числу итераций цепей событий. В расчетных таблицах, созданных по результатам анализа данных из томограмм, наличие этого факта отмечено серым цветом. Формально такое суждение инициализируется основным положением термодинамики: сложностью синхронной поддержки энергетического потенциала в двух и более компартаментах клетки, функциональной системы или отдельного органа. С точки зрения биологической термодинамики наличие подобных артефактов является свидетельством разрушения механизмов управления синтезом клеточного кластера, а, следовательно, является патологией.

Представленный метод оценки СГМ с использованием базовых понятий биологической термодинамики создает хорошие предпосылки для анализа многочисленных и разноплановых результатов исследования с помощью МРТ.

Список литературы / References

1. Поздняков А.В., Войтенков В.Б., Карташев А.В., Скрипченко Н.В. Современные технологии диагностики и лечения заболеваний нервной системы у взрослых и детей: избранные вопросы. Санкт–Петербург, 2015. 315 с.
2. Пригожин И., Дюфэй Р. Химическая термодинамика М., Наука 1966. 258 с.
3. Макаров Л.М., Поздняков А.В., Мелашенко Т.В. International Scientific Review, 2016. № 8 (18). С. 92-99.