УДК 616-07+612.014.481.1+616-073.756.8
DOI: 10.56871/ViM.2024.40.92.001

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ЛОГИЧЕСКИХ СУЖДЕНИЙ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ОБРАЗАМ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

© Леонид Михайлович Макаров[1, 2], Александр Владимирович Поздняков[1],
Ольга Федоровна Позднякова[1], Кирилл Петрович Дроботов[1],
Майя Михайловна Гребенюк[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2
[2] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. 193232, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, к. 1

Контактная информация: Леонид Михайлович Макаров — к.т.н., профессор, кафедра интеллектуальных систем автоматизации и управления; доцент, кафедра медицинской биофизики и физики. E-mail: biopet@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2661-6618 SPIN: 3674-5506

Для цитирования: Макаров Л.М., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф., Дроботов К.П., Гребенюк М.М. Компьютерная рентгеновская томография. Интеллектуальный синтез логических суждений по визуальным образам в лучевой диагностике. Визуализация в медицине. 2024;6(4):4–13. DOI: https://doi.org/10.56871/ViM.2024.40.92.001

Поступила: 09.10.2024 **Одобрена: 15.11.2024** **Принята к печати: 19.12.2024**

Резюме. Расширение современных инструментальных средств диагностики структур головного мозга (СГМ) неразрывно связано с проявлением высокого уровня интеллектуальной деятельности специалиста в области компьютерной томографии. Профессиональный опыт специалиста в распознавании патологии нейронных структур порождает необходимость воспроизведения формальных основ алгоритмического подхода, способного предоставить численные показатели. В материалах работы представлен формальный процедурный подход к регистрации данных о СГМ, учитывающий различные физические принципы образования исходного аналитического массива данных компьютерного изображения.

Ключевые слова: компьютерная томография, формализм логических суждений

COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY. INTELLECTUAL SYNTHESIS OF LOGICAL JUDGMENTS BASED ON VISUAL IMAGES IN RADIATION DIAGNOSTICS

© Leonid M. Makarov[1, 2], Alexander V. Pozdnyakov[1], Olga F. Pozdnyakova[1],
Kirill P. Drobotov[1], Maya M. Grebenyuk[1]

[1] Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100 Russian Federation
[2] Saint Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruevich. 22, building 1, Bolshevikov ave., Saint Petersburg 193232 Russian Federation

Contact information: Leonid M. Makarov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Intellectual Automation and Control Systems; Associate Professor, Department of Medical Biophysics and Physics. E-mail: biopet@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2661-6618 SPIN: 3674-5506

For citation: Makarov LM, Pozdnyakov AV, Pozdnyakova OF, Drobotov KP, Grebenyuk MM. Computed X-ray tomography. Intellectual synthesis of logical judgments based on visual images in radiation diagnostics. Visualization in Medicine. 2024;6(4):4–13. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.56871/ViM.2024.40.92.001

Received: 09.10.2024 **Revised: 15.11.2024** **Accepted: 19.12.2024**

Abstract. The expansion of modern diagnostic tools for brain structures (SGM) is inextricably linked with the manifestation of a high level of intellectual activity of a specialist in the field of computed tomography. The professional experience of a specialist in recognizing the pathology of neural structures creates the need to reproduce the formal foundations of an algorithmic approach capable of providing numerical indicators. The materials of the paper present a formal procedural approach to the registration of SGM data, taking into account various physical principles of the formation of the initial analytical array of computer image data.

Keywords: computed tomography, formalism of logical judgments

ВВЕДЕНИЕ

Развитие представлений об анатомическом и о морфологическом строении биологических структур создается при активном участии многих естественнонаучных дисциплин. Столь пристальное внимание к проблеме познания структурного состояния биологических тканей зародилось давно, но только благодаря биофизическим исследованиям реализовалось в медицинский аппаратный инструментарий, широко используемый в большом списке диагностических процедур. Компьютерная томография реализуется на основе типичных аппаратных средств — томографа и компьютера. Основная идея метода позволила сочетать технические средства формирования изображений и традиционные визуальные методы анализа. Необходимые для практической работы специалиста сведения синтезируются в процессе мыслительной деятельности человека, визуальному взору которого представляется изображение, создаваемое технической системой. В современной медицинской практике для визуального анализа создаются компьютерные изображения (фреймы), обеспечивающие реализацию сложных математических процедур по реконструкции изображений.

Теоретические основы компьютерной томографии (КТ) первоначально формировались на предметном поле математики и физики [1, 2]. Математическая теория, лежащая в основе компьютерной томографической реконструкции биологических объектов, создавалась с использованием понятий алгебраической топологии [3, 4]. С одной стороны, этот подход формировал простые и убедительные суждения об особенностях структурных свойств разных биологических тканей, а с другой стороны, позволял реализовывать разные по сложности режимы реконструкции изображений. Метод компьютерной томографии основан на измерении интенсивности информационного потока. Типичная КТ реализуется на множестве компьютерных процедур по обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности биологическими тканями [5–7]. Во время КТ снимки делаются послойно, на различной глубине, и обрабатываются затем с помощью компьютера.

Так на практике появилась электронно-лучевая КТ, затем поперечная КТ и, наконец, послойная КТ. Совершенствуя теоретические основы реконструкции изображений, последующий анализ результатов КТ требовал наличия определенных знаний и профессиональных навыков выделения патологических фрагментов. Например, при травмах метод КТ обеспечивал высокую степень визуализации обследуемых фрагментов изображения (рис. 1).

Модификация рентгеновской аппаратуры и использование компьютерной техники в процедурах КТ позволили выявлять мельчайшие анатомические структуры размером всего в несколько миллиметров. Если при рентгенографии можно различить ткани с разницей в плотности 15–20%, то с помощью КТ этот показатель улучшился до 0,5%.

Важнейшее достоинство компьютерной томографии — возможность работы в динамическом режиме, при этом формируются последовательные «кадры» развития процесса движения жидкости (крови, лимфы, мочи), биения сердца, движения грудной клетки при дыхании [8]. Относительно небольшая лучевая нагрузка в исследованиях по технологии КТ позволяет визуализировать сложные процессы



Рис. 1. Фрейм — кисти рук. Визуально обнаруживается разная плотность мягких тканей

Fig. 1. Frame — hands. Visually, a different density of soft tissues is detected

[9–11]. Одной из модификаций КТ является работа со сцинтиграфическими изображениями, когда источником сигнала служит изотоп, избирательно распределенный в тканях организма.

Одно из перспективных направлений современных исследований по технологии КТ — изучение индивидуальной морфологической изменчивости структур головного мозга (СГМ) человека. Несмотря на бурное развитие морфологии и физиологии нервной системы, до сих пор сведения о количественных характеристиках головного мозга требуют уточнения, и именно поэтому ведутся активные поиски вычислительных процедур, надлежащим образом устанавливающих достоверность результатов инструментального анализа, например, магнитно-резонансной томографии (МРТ) и позитронно-эмиссионной томографии.



Рис. 2. Фрейм МРТ-исследования структур головного мозга с идентификацией патологии. Участок патологии выделен контурной красной линией. Этот фрагмент изображения визуально отличается от нормальной ткани, обладающей окрасом серого и черного цвета, имеет отчетливо выраженную границу на визуальном поле всего фрейма. Имеет также геометрическую границу. Наличие у томографа аппаратного модуля интерактивного калькулятора вычислений позволяет оценить площадь патологического участка. Это способствует формированию количественной оценки для фрагментов полученного фрейма

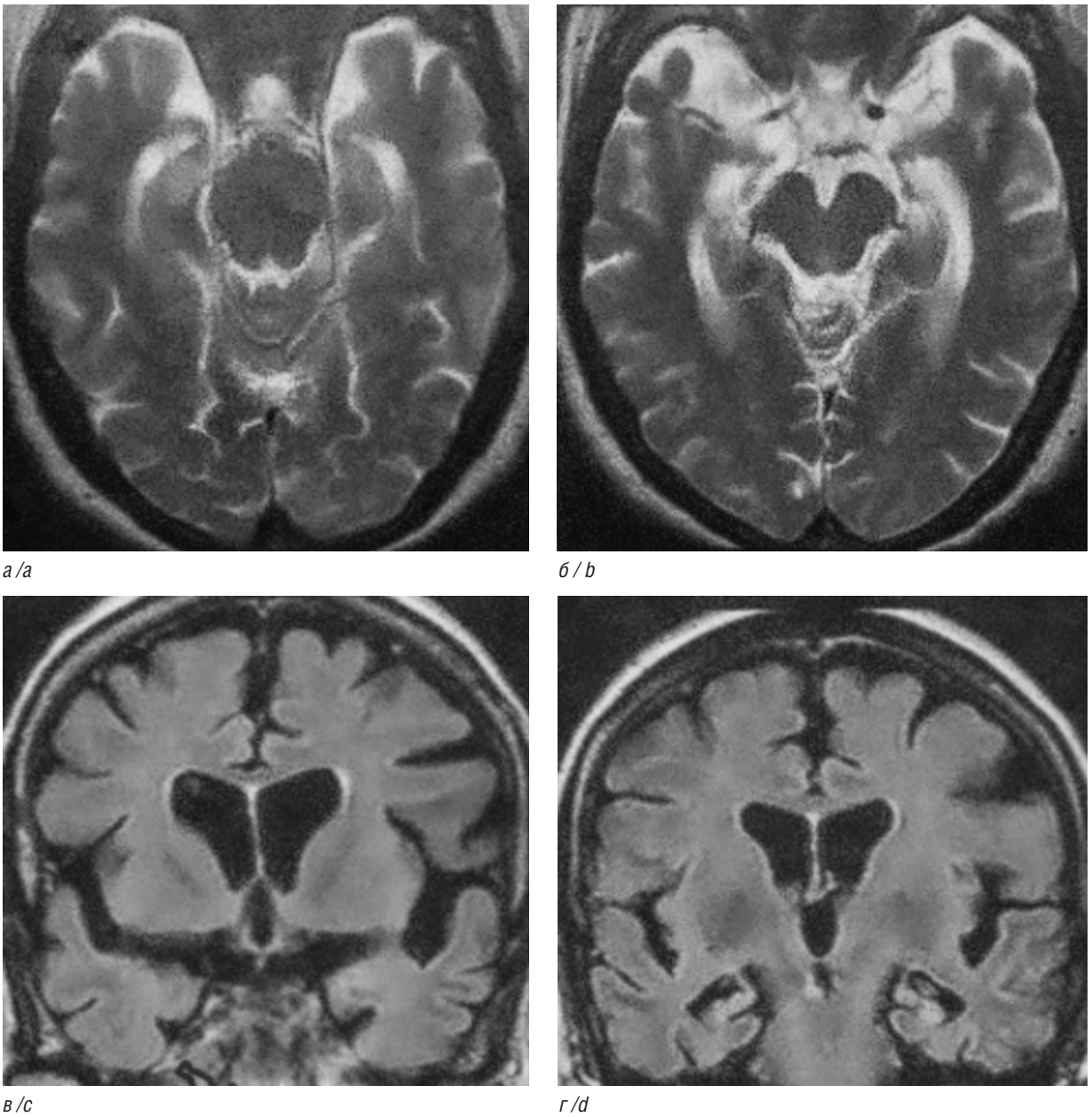
Fig. 2. The pathology site is marked with a contoured red line. This fragment of the image visually differs from normal tissue, which has a gray and black color, and has a clearly defined border on the visual field of the entire frame. It also has a geometric border. The tomograph has a hardware module with an interactive calculator that allows you to estimate the area of the pathological site. This contributes to the formation of a quantitative assessment for fragments of the received frame

Магнитно-резонансная томография — метод лучевой диагностики, основанный на использовании магнитного поля и радиоволн для получения послойных и объемных изображений органов и тканей, восстановленных математическими методами. При этом на изображении фиксируется как разница в плотности тканей, иными словами количество ядер в единице объема, так и разница в скорости восстановления этих ядер после их возбуждения радиочастотным импульсом. МРТ — самый сложный из всех методов лучевой диагностики как с точки зрения физико-технических основ, так и технологии производства и компьютерного обеспечения, а также один из самых дорогостоящих методов [13–15]. Типичный результат исследования СГМ представлен на рисунке 2, где выделен цветом патологический фрагмент.

Наличие возможности визуально четко выделить на фрейме интересующий исследователя фрагмент позволяет приступить к обсуждению двух сценариев развития событий. В первом случае площадь выделенного фрагмента с течением времени не изменится, хотя интенсивность проявления патологии может возрасти, что останется малозаметным при визуальном анализе. По второму сценарию последующие исследования могут установить наличие изменений геометрических размеров патологического фрагмента, что, естественно, может послужить основанием для формулировки благоприятного, в случае понижения численных значений площади СГМ, или неблагоприятного прогноза развития событий, в случае увеличения численных значений площади выделенного фрагмента (рис. 3).

При анализе сложных образований из разных СГМ используют результаты фантомных исследований либо наборы изображений, соотносимых с «нормой». Очевидно, что и в том, и другом случае необходимо участие человека, специалиста в области анализа фреймов СГМ.

Расширение списка сервисных процедур анализа СГМ неразрывно связано с изменением технологии формирования конечных результатов — фреймов [15]. Избирательное выделение нейронных кластеров, подлежащих анализу, можно осуществлять на основе изотопных методов. Позитронно-



а / a *б / b*

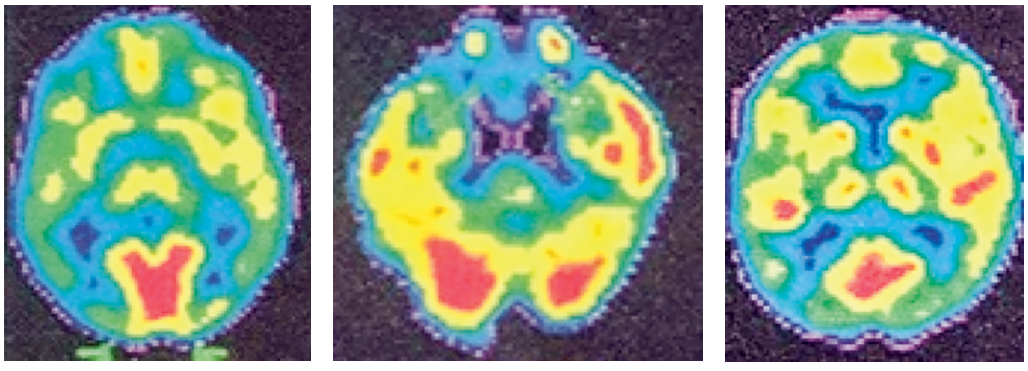
в / c *г / d*

Рис. 3. Атрофия головного мозга при болезни Альцгеймера. Визуализируется истончение коры теменной и височной долей, особенно в области гиппокампа. Представлена аксиальная проекция фрейма (*а, б*), а также фреймы в коронарной плоскости (*в, г*). Височные рога боковых желудочков расширены

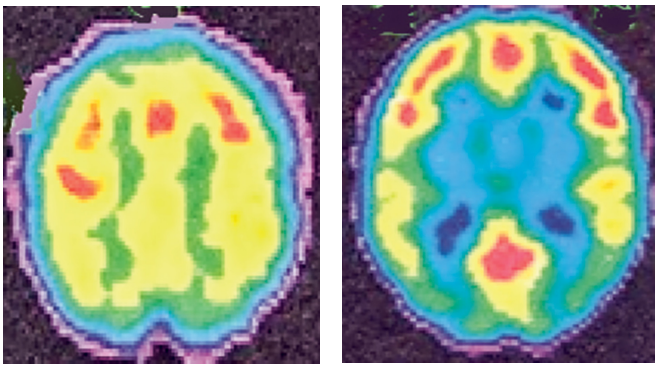
Fig. 3. Brain atrophy in Alzheimer's disease. The thinning of the cortex of the parietal and temporal lobes is visualized, especially in the area of the hippocampus. The axial projection of frames (*a, b*) is presented, as well as frames in the coronary plane (*c, d*). The temporal horns of the lateral ventricles are dilated

эмиссионная томография (ПЭТ) позволяет воспроизводить серии фреймов при условии предварительного введения в организм человека радиоизотопа. Типичный список изотопов для медицинских исследований содержит примерно 50 наименований. Для ПЭТ используются изотопы [16, 17]: углерод (C^{11}) с периодом полураспада 20,4 мин; азот (N^{13}) с периодом полураспада 9,96 мин; кислород (O^{15}) с периодом полураспада 2,03 мин; фтор (F^{18}) с периодом полураспада 109,8 мин.

Метод картирования СГМ основан на выявлении определенных нейронных кластеров, избирательно поглощающих введенный в организм изотоп, который принимает активное участие в формировании серии нейронных потенциалов. По технологии исследования на первом этапе в организм вводится



а / a *б / b* *в / c*



г / d *д / e*

Рис. 4. Области головного мозга с разной доминантой активности: *а* — активация визуального контроля; *б* — активация памяти; *в* — активация акустического контроля; *г* — активация моторной деятельности; *д* — активация рассуждений

Fig. 4. Brain regions with different dominant activity: *a* — activation of visa control; *b* — memory activation; *c* — activation of acoustic control; *d* — activation of motor activity; *e* — activating reasoning

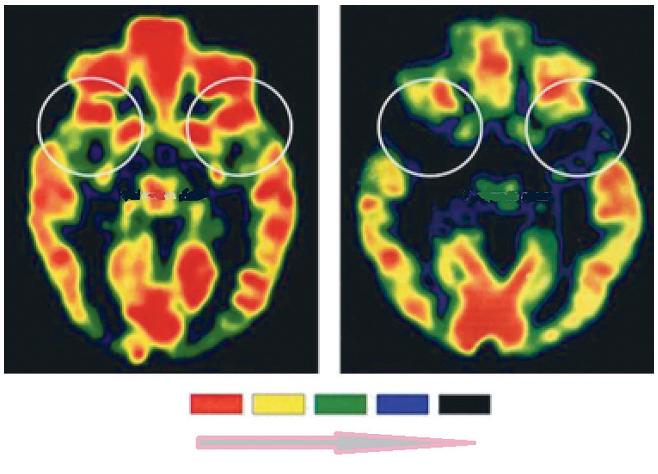


Рис. 5. Томограмма структур головного мозга височных долей. Направление понижений нейронной структуры

Fig. 5. CT scan of the temporal lobes. The direction of decreases in the neural structure

радиофармацевтический (изотоп) препарат, а по прошествии некоторого времени проводится исследование, которое длится несколько минут. На втором этапе выполняется типичная процедура КТ, а затем — ПЭТ-исследование [17, 18]. Два исследования проводят на одном томографе.

В методологическом отношении такой подход позволяет установить скорость протекания по нейронной сети потока сигнальных импульсов, а также выявить локализацию группы с наибольшей активностью кластеров (рис. 4, 5).

Следуя этим представлениям, современные исследования ПЭТ позволяют выявить анатомически значимые наборы кластеров, обнаружение активации которых является достоверным фактом развития мыслительной или функциональной деятельности организма.

Акцентуируя внимание на исходных компьютерных данных массивов, образующих фрейм СГМ, следует указать на наличие постоянной смены состояний нейронных структур головного мозга, что соответствует представлениям о вариабельности топологических свойств нейронной сети. Этот факт принимается за основу математической модели, воспроизводимой в терминах и понятиях алгебраической топологии [9–11], оперирующей образами квадрата и окружности (рис. 6). Выделение геометрических фигур в композиционном сочетании позволяет в явной форме указать на имплицитность знаний, выраженных в понятии о периметрах фигур. В таком случае отметим, что присутствующая иррациональность в алгебраическом отношении рассматриваемых периметров фигур хорошо отражает идею отсутствия абсолютной истины. Иррациональность рассматривается как индикатор отсутствия абсолютного знания — истины. Тогда скрытая иррациональность, воспринимаемая как имплицитность

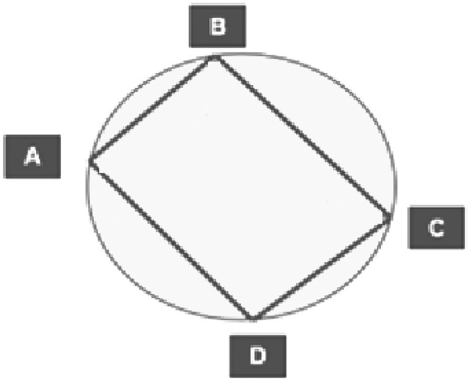


Рис. 6. Сопряжение геометрических фигур
Fig. 6. Conjugation of geometric shapes

в сочетании периметров рассматриваемых фигур, порождает суждение о наличии логической связи разных геометрических фигур, но не позволяет отчетливо указать на схему образования такой связи. Все это очень похоже на наличие многочисленных связей в СГМ, порождающих суждения, которые обнаруживаются как эффект активации нейронных кластеров, ответственных за речь или восприятие акустических эффектов. Тогда можно констатировать, что множество различных нейронных кластеров с подобными свойствами демонстрируют мыслительный процесс, который одновременно обладает и имплицитностью, и иррациональностью. В терминах алгебры периметры представленных фигур сопряжены иррациональным соотношением, что должно отождествляться с отсутствием возможности построения «абсолютного полного информационного пакета данных о наблюдаемом процессе/объекте» [12].

Формализм сочетания разных по форме геометрических фигур запишем в виде выражения:

$$AB \cdot CD + AD \cdot BC = AC \cdot BD \qquad (1)$$

Формально в терминах математики декларируется наличие факта того, что произведение длин диагоналей вписанного четырехугольника равняется сумме произведений длин противоположных сторон четырехугольника. По умолчанию признается, что в случае квадрата диагонали характеризуют диаметр окружности. Такое сочетание геометрических фигур позволяет создавать различные по масштабу модели. В терминах вычислительной топологии данная теорема строго доказана [10, 11].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Современные представления об истинности суждения основываются на двух категориях: истинно и ложно. Включим дуализм этого понятия в выражение (1) и задекларируем наличие возможности получать серии оценок фреймов, созданных по технологии КТ. Тогда представляется логичным выделить две компоненты:

$$\begin{gathered}(AB \cdot CD + AD \cdot BC) = a, \\ AC \cdot BD = b.\end{gathered} \qquad (2)$$

При условии $a=b$ имеем $Q = \log_2 (\frac{a}{b}) = 0$.

В терминах теории информации полученный результат $Q=0$ соответствует классической информационной оценке ($a=b$), выраженной в битах (Q/bit/). Принимая во внимание отсутствие ограничений на текущие оценки элементов всех видов изображений, констатируем возможность получения массивов, иначе говоря, кластеров.

Возможность формировать кластеры средствами математики позволяет выделять небольшие массивы компьютерных данных, в которых любое количество равных по значению элементов образует поле наблюдаемых событий с нулевым значением оценки информативности, выраженной в битах [12]. Формальное сопоставление графических образов, многоугольника и окружности осуществим на поле понятий алгебраической топологии, позиционируемых в качестве алгебраических объектов с определенными операциями и отношениями. Следуя этим представлениям, полагаем, что на компьютерном массиве данных, например, фрейме СГМ, осуществимы две бинарные операции: сложения и умножения, для которых выполняется закон дистрибутивности [11].

Тогда, используя выражение (2), имеем:

$$\begin{gathered}(AB \cdot CD + AD \cdot BC) = a, \\ AC \cdot BD = b,\end{gathered} \qquad (3)$$

или иначе $|a - b| = F$.

Полагаем, что показатель F характеризует эмерджентность при условии рассмотрения двух геометрических фигур с идентификаторами **a** и **b**, отождествляемых с линейными размерами элементов геометрических фигур. Положим, рассматривается типичный набор геометрических фигур: квадрат и окружность. В таком случае идентификатор **a** формируется по некоторому правилу сочетания линейных размеров сторон квадрата, а идентификатор **b** может соотноситься как с диаметром окружности, так и с диагоналями квадрата. Сделаем замечание о том, что и в том и в другом случае выделенные идентификаторы (**a** и **b**) при операции масштабирования могут принимать различные значения, которые следует рассматривать в качестве соответствующих множеств.

Тогда очевидно, что эмерджентность следует рассматривать как свойство, вычленяемое из процедуры сочетания двух множеств элементов [5, 12]. В математическом анализе два множества или классы A и B равновелики тогда и только тогда, когда между ними существует взаимно однозначное соответствие — биекция. Равномощность характеризуется биекцией в процедуре сопоставления двух множеств с произвольными по форме элементами, а это означает, что одно множество содержит столько же элементов, сколько и другое.

Выразим эмерджентность посредством процедуры сочетания двух множеств. Для начала рассмотрим случай, когда показатель эмерджентности равен нулю (F=0). Отметим, что для этого случая информационная оценка также приобретает нулевое значение (Q=0). И этот факт позволяет декларировать, что абелева группа, представленная набором классических фигур — квадратом и окружностью, характеризует свойство эмерджентности информационного пакета. Расширяя эти представления, можно сказать, что выделенные фигуры принадлежат группе алгебраических объектов и тождественны выпуклым множествам, а следовательно, все многообразие точек каждой фигуры образуют равновеликие множества [5, 12] , характеризуемые биекцией.

Как и прежде, выделим суждение о том, что биекция — это свойство взаимного соответствия для двух множеств. Тогда для сопоставляемых множеств (U_0 и U_m), обладающих показателями a и b, при условии a=b, имеем равнозначные оценки топологических структур — множеств, и соответствующее значение показателя F=0.

Очевидно, что в случае, когда обнаруживается неравнозначность оценок в элементах множеств a и b (F≠0) рассматриваемых объектов, справедливо полагать наличие уникальных свойств многоугольника и окружности, выраженных значением эмерджентности. Иначе говоря, каждое из рассматриваемых множеств элементов многоугольника и окружности обладает различиями, а это выражается в нарушении свойства биекции, а следовательно, в проявлении уникальной оценки эмерджентности. Данное суждение справедливо и позволяет указать, что чем больше значение оценки эмерджентности, тем значительнее нарушения системных связей элементов рассматриваемых объектов. На химическом уровне описания такого состояния объектов обнаруживается явная повышенная химическая активность. На физическом уровне описания такое состояние объектов соотносится с нестабильностью проявления основных свойств. В целом применительно к разным объектам и процессам констатируем, что формальная процедура вычисления оценки эмерджентности (3) обеспечивает возможность установить степень выраженности системных свойств, поддерживающих структуру кластера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим системообразующие свойства эмерджентности на примере группы элементов светового потока [16]. Проведем иллюстративный расчет показателя эмерджентности и оценки информативности по выражениям (2) и (3).

Следуя установленным принципам оценки состояния объектов физической природы, оценим значение эмерджентности компонент светового потока. Полагаем, что высокие по значению оценки эмерджентности соответствуют «малой системной взаимосвязанности» элементов рассматриваемого объекта, а следовательно, обладают малой информативностью. Напротив, низкие оценки эмерджентности свидетельствуют о наличии сильных системообразующих факторов, способных сохранить объект в неизменном состоянии длительное время.

В этом контексте следует указать, что оценка эмерджентности (F) по физическому определению характеризует как наличие системных связей, так и прочность этих связей в кластере элементов рассматриваемого процесса/явления. Иначе говоря, эмерджентность можно рассматривать как свойство набора элементов, соотносимых с кластером, способным демонстрировать динамичность системных связей между элементами. Дополняя эти представления, можно выделить такое состояние кластера элементов, которое характеризуется нулевым значением эмерджентности. Этот случай, описываемый в терминах квантовой механики, соответствует физическому состоянию объекта с нулевым значением энтропии и, соответственно, с нулевым значением оценки информативности [15, 17]. Следуя этим представлениям, можно показать, что при условии (a=b) имеем равенство оценок: F=Q=0.

Расширим введенные понятия об эмерджентности и рассмотрим естественный лучистый поток, воспринимаемый зрительным анализатором человека. Определим наиболее информативную оценку цветовой гаммы, представленной разными компонентами электромагнитного излучения (табл. 1).

Рассмотрим набор параметров светового потока из семи цветов (компонент): красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый, воспринимаемых зрительным анализатором человека как цветовой объект [18].

Проведем расчет оценок эмерджентности и информативности для каждой компоненты цветового

набора по выражениям (2) и (3). Результаты расчетов представим в таблице 2.

В серии полученных результатов отмечаем высокие значения оценок эмерджентности для нескольких компонент: красной, оранжевой и зеленой. Акцентируя внимание на этих компонентах естественного лучистого потока, отмечаем, что выделенный набор компонент совпадает с общепринятыми правилами формирования сигнальных форм, например в конструкции транспортных светофоров. Дополнением к этому набору компонент является фиолетовый цвет, который для визуального контроля процессов редко используется, но обладает большим значением эмерджентности.

Просмотр данных таблицы 2 указывает на факт того, что информационные оценки красной, желтой и зеленой компонент коррелируют с оценками эмерджентности. Можно сказать, что здесь получены «связанные» оценки, отвечающие интуитивно понятным биофизическим критериям. Из этого следует, что лаконичность суждения о сложном объекте или процессе можно воспроизвести в формате геометрического образа, построенного на сочетании многоугольника и окружности.

Таблица 1

Цветовой набор компонент лучистого потока

Table 1

Color set of radiant flux components

№	Цвет / Colour	Длина волны, нм / Wavelength, nm	Частота, ТГц / Frequency, THz
1	Фиолетовый / Violet	380–450	670–790
2	Синий / Blue	450–485	620–670
3	Голубой / Light blue	485–500	600–620
4	Зеленый / Green	500–565	530–600
5	Желтый / Yellow	565–590	510–530
6	Оранжевый / Orange	590–625	480–510
7	Красный / Red	625–750	400–480

Используем введенные понятия для оценки томограмм. Для случая томограммы на рисунке 1, когда имеется бинарная картинка, представленная двумя элементами — черным и белым цветом, эмерджентность определяется по выражениям (2) и (3). Рассматривая единичный элемент на томограмме из фрагмента патологии, фиксируем значение эмерджентности, равное 15 000.

Для томограммы, представленной на рисунке 3, где визуально обнаруживаются патологические фрагменты изображения, получаем аналогичное значение эмерджентности, равное 15 000. Подобие оценок объясняется наличием одинаковых цветовых элементов палитры красок фреймов. Рассмотрение цветных фреймов, полученных по технологии МРТ и ПЭТ, демонстрирует наличие иной оценки эмерджентности, равной 19 000. Здесь наблюдается яркая цветовая палитра, что позволяет выделить несколько цветовых оттенков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для современных технологий инструментального исследования СГМ характерно использование аналитических компьютерных процедур, позволяющих подготовить достаточно четкие изображения для визуального анализа. Наличие таких сервисных процедур является необходимым условием получения объективной оценки изображений, созданных по технологии КТ. В дополнение к компьютерной «раскраске» изображений СГМ следует добавить аналитические процедуры, позволяющие оценить интенсивность информационных процессов на выделенных фрагментах фреймов [18–20].

Фиксируя в интерактивном режиме компьютерной графики уровень интенсивности цвета на отдельных фрагментах изображения СГМ, появляется возможность прогнозировать развитие событий, и тем самым подбирать адекватные терапевтические процедуры.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследо-

Таблица 2

Расчетные оценки значений эмерджентности (F) и информативности (Q)

Table 2

Estimated values of emergence (F) and information content (Q)

Показатель / Indicator	Красный / Red	Оранжевый / Orange	Желтый / Yellow	Зеленый / Green	Голубой / Light blue	Синий / Blue	Фиолетовый / Violet
F	20 000.00	2100.00	1000.00	2100.00	600.00	0.00	16 800.00
Q	0.479	0.240	0.441	0.678	0.063	0.000	0.246

вания и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Л.М. Имплицитность биотехнических знаний. В сб.: Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития. Уфа; 2020.
2. Макаров Л.М., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф. Визуализация образа структур головного мозга. Визуализация в медицине. 2023;5(3):10–15.
3. Макаров Л.М., Поздняков А.В. Эмерджентный образ кластера в сложной системе. Internacional scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Boston; 2022.
4. Вик Дж.У. Теория гомологий. Введение в алгебраическую топологию. М.: МЦНМО; 2005.
5. Хаусдорф Ф. Теория множеств. М.: Ленанд; 2023.
6. Макаров Л.М. Информационная энтропия. International scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Collection of scientific articles LXVII International correspondence scientific and practical conference. 2020.
7. Макаров Л.М., Поздняков А.В. Компьютерный анализ имплицитных процессов жизнедеятельности живых организмов. European Science. 2023;1(65):66–73.
8. Макаров Л.М., Поздняков А.В., Полищук В.И. Эмерджентность кластера биохимических показателей функционального состояния организма. Визуализация в медицине. 2023;5(4):25–30.
9. Скопенков А.Б. Алгебраическая топология. М.: МЦНМО; 2020.
10. Теорема Птолемея. Доступен по: https://www.resolventa.ru/vpisannye-chetyrekhugolniki-teorema-ptolemeya?ysclid=m2n0c1h12831009334 (дата обращения: 14.12.2024).
11. Теорема Птолемея. Доступен по: https://en.wikipedia.org/wiki/Ptolemy%27s_theorem (дата обращения: 14.12.2024).
12. Духин А.А. Теория информации. М.: Гелиос АРВ; 2007.
13. Киселев В.А. Квантовая механика. Курс лекций. М.: МЦНМО; 2009.
14. Химические элементы. Доступен по: https://molbiol.kirov.ru/spravochnik/structure/44/ (дата обращения: 14.12.2024).
15. Ярославцев А.Б. Физическая химия. М.: Научный мир; 2018.
16. Панов Е.А. Познание цвета. Едиториал УРСС; 2019.
17. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Ленанд; 2021.
18. КТ- и МРТ-визуализация головного мозга. Подход на основе изображений. Под ред. З. Румболдта, М. Кастильо, Б. Хуанга, А. Росси. М.: МЕДпресс-информ, 2020.
19. Байбаков С.Е. Закономерности постнатального морфогенеза головного мозга и черепа человека по данным магнито-резонансной томографии. Автореф. дис. … д-ра биол. наук. СПб.; 2008.
20. Неинвазивный метод исследования СГМ. Доступен по: https://msk.mrtexpert.ru/articles/pozitronno-emissionnaya-tomografiya-proryv-v-diagnostike-onkologicheskih-zabolevaniy?ysclid=m3cs5p5779545283793 (дата обращения: 14.12.2024).

REFERENCES

1. Makarov L.M. Implicitness of biotechnical knowledge. In: Mezhdistsiplinarnost' nauchnykh issledovaniy kak faktor innovatsionnogo razvitiya. Ufa; 2020. (In Russian).
2. Makarov L.M., Pozdnyakov A.V., Pozdnyakova O.F. Visualization of the image of brain structures. Visualization in medicine. 2023;5(3):10–15. (In Russian).
3. Makarov L.M., Pozdnyakov A.V. The emergent image of a cluster in a complex system. Internacional scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Boston; 2022. (In Russian).
4. Wick J.W. Homology Theory. Vvedeniye v algebraicheskuyu topologiyu. Moscow: MTSNMO; 2005. (In Russian).
5. Hausdorff F. Set Theory. Moscow: Lenand; 2023. (In Russian).
6. Makarov L.M. Information entropy. International scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Collection of scientific articles LXVII International correspondence scientific and practical conference. 2020. (In Russian).
7. Makarov L.M., Pozdnyakov A.V. Computer analysis of implicit processes of vital activity of living organisms. European Science. 2023;1(65):66–73. (In Russian).

8. Makarov L.M., Pozdnyakov A.V., Polishchuk V.I. Emergence of a cluster of biochemical indicators of the functional state of the body. Visualization in medicine. 2023;5(4):25–30. (In Russian).
9. Skopenkov A.B. Algebraic topology. Moscow: MTSNMO; 2020. (In Russian).
10. Ptolemy's Theorem. Available at: https://www.resolventa.ru/vpisannye-chetyrekhugolniki-teorema-ptolemeya?ysclid=m2n0c1h12831009334 (accessed: 14.12.2024). (In Russian).
11. Ptolemy's Theorem. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Ptolemy%27s_theorem (accessed: 14.12.2024). (In Russian).
12. Dukhin A.A. Information Theory. Moscow: Helios ARV 2007. (In Russian).
13. Kiselev V.A. Quantum mechanics. Course of lectures. Moscow: MTSNMO; 2009. (In Russian).
14. Chemical elements. Available at: https://molbiol.kirov.ru/spravochnik/structure/44/ (accessed: 14.12.2024). (In Russian).
15. Yaroslavtsev A.B. Physical Chemistry. Moscow: Nauchnyy mir; 2018. (In Russian).
16. Panov E.A. Cognition of color. Yeditorial URSS; 2019. (In Russian).
17. Shalimova K.V. Physics of semiconductors. Leonad; 2021. (In Russian).
18. CT and MR imaging of the brain. An image-based approach. Edited by Z. Rumboldt, M. Castillo, B. Huang, A. Rossi. Moscow: MEDpress-inform, 2020. (In Russian).
19. Baibakov S.E. Patterns of postnatal morphogenesis of the human brain and skull according to magnetic resonance imaging data. PhD thesis. Saint Petersburg; 2008. (In Russian).
20. Source Non-invasive SGM research Method. Available at: https://msk.mrtexpert.ru/articles/pozitronno-emissionnaya-tomografiya-proryv-v-diagnostike-onkologicheskih-zabolevaniy?ysclid=m3cs5p5779545283793 (accessed: 14.12.2024). (In Russian).