

**EVALUATION OF INFORMATION ENTROPY
BRAIN CLUSTER**

**Makarov L.M.¹, Ivanov D.O.², Pozdnyakov A.V.³, Razinova A.A.⁴,
Grebenyuk M.M.⁵, Poznyakova O.F.⁶, Melashenko T.V.⁷ (Russian Federa-
tion) Email: Makarov520@scientifictext.ru**

*¹Makarov Leonid Mikhailovich - PhD in System analysis, Professor,
DEPARTMENT OF DESIGNING AND PRODUCTION OF RADIO-
ELECTRONIC MEANS,*

*ST.-PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS OF
THE PROF. M.A. BONCH-BRUYEVICH;*

²Ivanov Dmitriy Olegovich - Doctor of Medical Sciences, Professor, Rector;

³Pozdnyakov Alexander Vladimirovich - Doctor of Medical Sciences, Professor;

⁴Razinova Anna Andreevna – Assistant;

⁵Grebenyuk Maya Mikhailovna – Assistant;

⁶Poznyakova Olga Fedorovna - Candidate of Medical Sciences, Radiologist;

⁷Melashenko Tatyana Vladimirovna - Candidate of Medical Sciences, Doctor,

DEPARTMENT OF MEDICAL BIOPHYSICS,

PEDIATRIC MEDICAL UNIVERSITY,

ST.-PETERSBURG

Abstract: *a systematic approach to the analysis of various brain structures (SGM) - human - child is presented. Numerous ultrasounds were carried out, which ensured the creation of a model for calculating the estimation of the information entropy of the SGM cluster - the bug. It was established that the basis of the model is able to identify various stages of cerebellar development, as well as reproduce the quantitative indicator of the "maturity" of the neural tissue of the cerebellum. Demonstrated the possibility of using computer-based ultrasound data to create reasoned judgments about the degree of cerebellum development in dissipative SGM - a child.*

Keywords: *brain, ultrasound computer model, dissipative system.*

**ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ КЛАСТЕРА ГОЛОВ-
НОГО МОЗГА**

Макаров Л.М.¹, Иванов Д.О.², Поздняков А.В.³, Разинова А.А.⁴, Гребенюк М.М.⁵, Познякова О.Ф.⁶, Мелашенко Т.В.⁷ (Российская Федерация)

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

²Иванов Дмитрий Олегович - доктор медицинских наук, профессор, ректор;

³Поздняков Александр Владимирович – доктор медицинских наук, профессор;

⁴Разинова Анна Андреевна – ассистент;

⁵Гребенюк Майя Михайловна – ассистент;

⁶Познякова Ольга Федоровна – кандидат медицинских наук, рентгенолог;

⁷Мелашенко Татьяна Владимировна – кандидат медицинских наук, врач, кафедра медицинской биофизики,

Педиатрический медицинский университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация: представлен системный подход к анализу различных структур головного мозга (СГМ) - человека – ребенка. Проведены многочисленные УЗИ, обеспечившие создание модели вычисления оценки информационной энтропии кластера СГМ - мозжечка. Установлено, что базис модели способен идентифицировать различные стадии развития мозжечка, а также воспроизвести количественный показатель «зрелости» нейронной ткани мозжечка. Продемонстрирована возможность использования компьютерных данных УЗИ для создания аргументированных суждений о степени развития мозжечка в диссипативной СГМ - ребенка.

Ключевые слова: головной мозг, компьютерная модель УЗИ, диссипативная система.

УДК 539.1+519.61

Развитие современных представлений о диссипативных структурах сформировалось на многочисленных материалах биологических исследований, установивших общие закономерности описания термодинамических процессов в Природных живых системах. Выделяя серию понятий таких как система, открытая система, биологическая система - указывается на наличие неравновесных процессов, являющихся основой устойчивого развития и существования сложной системы, в частности головного мозга человека. В такой системе постоянно присутствуют конвекционные потоки энергии. Большая интенсивность энергетических потоков присутствует на ранней стадии развития организма ребенка. Следуя этим представлениям, структуры головного мозга (СГМ) человека рассматриваются как сложно организованная стационарная открытая система. В такой системе отчетливо проявляется свойство спонтанности формирования кластеров – внутренних структур, обладающих уникальными индивидуальными различиями, выраженных в терминах информационной энтропии.

Головной мозг является уникальным сосредоточением нейронных структур, представленных, в анатомическом отношении, кластерами. Ана-

томически СГМ характеризуется набором из шести тонких слоев, образованных из серого вещества, которые распределены по поверхности белого вещества. Общая поверхность головного мозга представлена рифленой поверхностью, на которой отчетливо выделяются борозды и впадины – углубления. Эта особенность позволяет рассматривать объёмные и поверхностные показатели кластеров. Такие представления в полной мере соответствуют определению диссипативной системы, обладающей многочисленными функциональными состояниями. В медицинской практике в качестве типовых методов оценки состояния СГМ принято рассматривать магниторезонансную томографию (МРТ) и ультразвуковое исследование (УЗИ), осуществляемых посредством компьютерных сканеров, обеспечивающих в интерактивном режиме получение массива данных избранных фрагментов головного мозга, а также численных показателей избранных кластеров.

Массив данных — это статистический массив показателей состояния нейронной ткани, избранного фрагмента головного мозга. Используя компьютерные программы формирования массивов данных, реализуется процедура создания диагностического заключения.

Оперируя понятием массива данных для избранной СГМ, как правило, создается усредненная оценка показателя энергетического состояния нейронного кластера. Расширим это представление. В таком случае можно сказать, что для любой диссипативной системы характерно отсутствие состояния с «повторением событий». В простом иллюстративном примере по этому тезису можно говорить о невозможности на продолжительном временном интервале фиксации двух и более абсолютно идентичных массивов данных, например, кардиограмм, рентгенограмм, томограмм. Аксиоматическое правило, созданное на основе этого тезиса, реализуется в рамках теоремы Лиувилля [1], которая постулирует сохранение постоянным элементарного кластера фазового пространства наблюдения, хотя формы и размеры исключительно для выбранного набора кластеров могут меняться. Что фактически и происходит в процессе развития организма, в частности головного мозга. Несмотря на вариативность размеров различных кластеров, например, в головном мозге мозжечка, местоположение кластера в фазовом пространстве наблюдения сохраняется постоянным. В таком случае, следует признать, что функция распределения элементов избранного кластера остается неизменной на всем периоде жизни. Из этого следует, что функция распределения элементов избранного кластера уникальна, а функциональная оценка развитости кластера формируется в терминах энергии.

Наличие представления о устойчивом состоянии кластера, возникающее в неравновесной среде при условии диссипации (рассеивания) энергии, которая поступает извне, обеспечивает возможность проводить расчет оценки информационной энтропии [2]. Выделяя классический бинарный под-

ход в определении информации, рассматривается параметрическая модель кластера, создаваемая на основе показателя объема (V) и площади поверхности (S), которые устанавливаются в процедуре натурального УЗИ исследования СГМ, в частности, мозжечка.

Мозжечок является частью СГМ, обладает корой, образующей двухдольную систему. В анатомическом плане над мозжечком возвышается затылочная область СГМ. Изучение анатомических особенностей развития мозжечка на ранних стадиях формирования организма человека представляется актуальной проблемой, поскольку создает основы построения долговременных суждений о развитости двигательной активности организма.

Формализм построения суждений создается в терминах параметрической модели, реализуемой на основе выражения:

$$X(t) = (s + v)\text{Cos}(t) - v\text{Cos}\left(\frac{s + v}{v}t\right)$$
$$Y(t) = (s + v)\text{Sin}(t) - v\text{Sin}\left(\frac{s + v}{v}t\right)$$

Где s - нормированное значение площади поверхности мозжечка; v - нормированное значение объема мозжечка; t - параметр развертки событий /радиан/

Процедура УЗИ позволяет в разные моменты развития организма зафиксировать форму и размеры мозжечка. Мозжечок является частью диссипативной системы – СГМ. Оценка уровня информационной энтропии диссипативного кластера – мозжечка, создается по результатам компьютерного УЗИ исследования, которое воспроизводит показатель объема и площади мозжечка [3]. В основе построения модели формирования оценки информационной энтропии, заложен принцип мониторинга развития структуры мозжечка. По мере развития организма увеличивается количество элементов кластера, идентифицируемого как мозжечок в интерактивном режиме УЗИ. Этот эффект прослеживается в математической модели и представлен на рисунке.

Очевидно, естественное развитие головного мозга требует детального рассмотрения увеличивающейся сложности СГМ, в частности, повышения зрелости структуры мозжечка. Обнаружение как минимум двух состояний развития структуры мозжечка – «незрелой» и «зрелой» структуры, хорошо прослеживается на графическом образе модели.

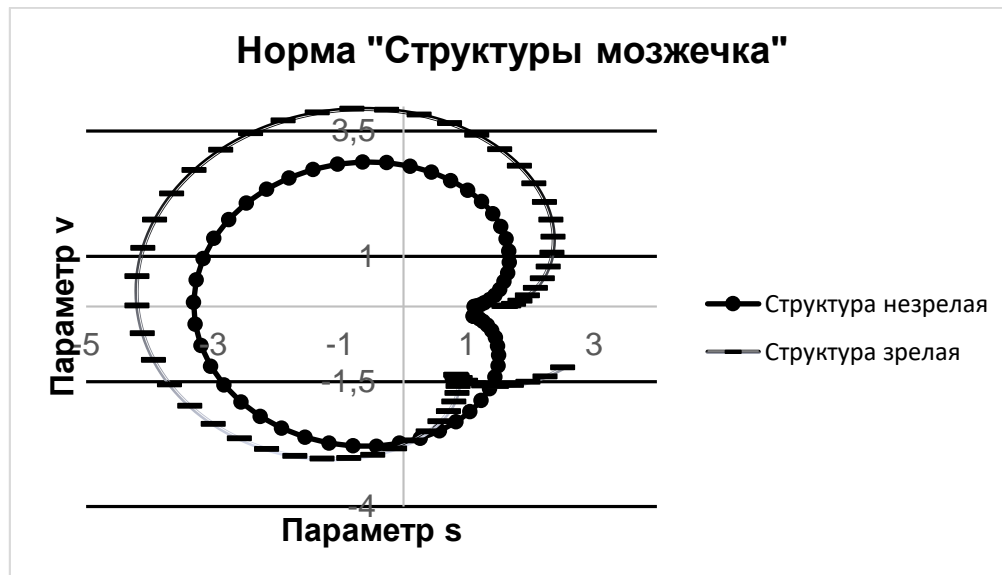


Рис. 1. Графический образ структуры мозжечка

Первично воспроизводимый в модели образ, соотносимый с неразвитой структурой, обладает компактностью. Напротив, образ с развитой структурой характеризуется незавершенностью периметра, что можно соотносить со спиральным процессом.

Рассмотренный в качестве иллюстративного примера, средствами моделирования, образ структуры мозжечка, на основе УЗИ, позволяет аргументировано проводить построение таксономических правил развития нейронной структуры. Формирование таксономических правил позволяет установить «тонкие» различия нейронных СГМ, в том числе и мозжечка, на разных стадиях развития, и, что важно проводить сопоставление полученных результатов в разных возрастных группах детей.

Это оказывается чрезвычайно важной компьютерной вычислительной процедурой в период раннего мониторинга диссипативной системы СГМ. Наличие возможности создавать количественные показатели о развитости мозжечка, наравне с показателями объема и площади поверхности, получаемых посредством обработки массивов данных УЗИ, способствует воспроизведению аргументированных медицинских суждений.

Список литературы / References

1. *Ляпилин И.И., Калашиников В.П.* Неравновесный статистический оператор, 2008.
2. *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. DOI: 10.24411/2542-0798-2020-16702.

3. *Макаров Л.М., Поздняков А.В., Мелашенко Т.В.* МРТ головного мозга в онтогенезе плода новорожденного - диагностическая основа модели диссипативных систем. *International Scientific Review*, 2017. № 4 (35). С. 85-91.