

АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ И ОБЪЕМОВ ЗОН ИНТЕРЕСА НА МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Кирякова Т.Н., Марусина М.Я., Федченков П.В.

Цель исследования. Разработать методы выделения контуров и вычисления объемов зон интереса на томографических изображениях головного мозга.

Материалы и методы. В исследование включены МР-изображения головного мозга 24 пациентов, полученные на открытом электронном ресурсе The Lung Image Database Consortium image collection (LIDC-IDRI). Проведена статистическая обработка данных, оценена достоверность результатов вычисления объемов зон головного мозга, представлена визуальная оценка полученных числовых показателей – линейный график, диаграмма концентрации, диаграмма рассеяния, диаграмма Вороного.

Результаты. Разработана и апробирована программа автоматического определения объема головного мозга и объема патологии. Установлено с вероятностью безошибочного прогноза 95%, что средний уровень распределения в генеральной совокупности для коэффициента объема мозга с патологией $86 \leq V_{wpat} \leq 156$, а для самой патологии $78 \leq V_{pat} \leq 140$. Для сегментирования зон головного мозга была написана в пакете Matlab программа пороговой сегментации. Разработанные программы позволили получить достоверные данные при обработке МР-изображений головного мозга 24 пациентов.

Выводы. Разработанные методы определения контуров и вычисления объемов позволяют проводить автоматическую количественную оценку соотношений объемов различных выделенных зон интереса при последующей обработке МР-изображений.

Ключевые слова: сегментация, контур, МРТ, обработка МР-изображений.

Контактный автор: Кирякова Т.Н., e-mail: kiryackova.taisiya@yandex.ru

Для цитирования: Кирякова Т.Н., Марусина М.Я., Федченков П.В. Автоматические методы определения контуров и объемов зон интереса на мрт-изображениях. REJR 2017; 7(2):117-127. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-2-117-127.

Статья получена: 20.03.2017

Статья принята: 05.05.2017

AUTOMATIC METHODS OF CONTOURS AND VOLUMES DETERMINATION OF ZONES OF INTEREST IN MRI IMAGES

Kiryakova T.N., Marusina M.Ya., Fedchenkov P.V.

Purpose. To develop methods for isolating contours and calculating the volumes of zones of interest on tomographic images of the brain.

Materials and methods. The study included 24 patients. MRI images were obtained on the open electronic resource The Lung Image Database Consortium image collection (LIDC-IDRI). Statistical processing of the data was carried out, the reliability of the calculating the volumes results of the brain zones was estimated, a visual evaluation of the obtained numerical values was provided – a linear graph, a concentration diagram, a scattering diagram, and a Voronoy diagram.

Results. A program for automatic determination of brain volume and volume of pathology has been developed and tested. It is established with the probability of an error-free forecast of 95% that the average level of distribution in the population for a brain volume factor with a pathology of $86 \leq V_{wpat} \leq 156$, and for the pathology itself was $78 \leq V_{pat} \leq 140$.

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.
г. Санкт Петербург, Россия.

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.
Saint Petersburg, Russia.

For segmenting zones of the brain, a threshold segmentation program was written in the Matlab package. The developed programs allowed obtaining reliable data when processing MRI images of the brain of 24 patients.

Conclusion. The developed methods for determining contours and calculating volumes allows an automatic quantitative assessment of the volumes ratio of different identified areas of interest in processing of MRI images.

Keywords: segmentation, contour, MRI, processing of MRI images.

Corresponding author: Kiryakova T.N., e-mail: kiryackova.taisiya@yandex.ru

For citation: Kiryakova T.N., Marusina M.Ya., Fedchenkov P.V. Automatic methods of contours and volumes determination of zones of interest in mri images. REJR 2017; 7 (2):117-127. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-2-117-127.

Received: 20.03.2017

Accepted: 05.05.2017

Разработка универсальных автоматических методов сегментации МР-изображений является важной задачей лучевой диагностики. В свободном доступе на сегодняшний день в глобальной сети находится большое количество программного обеспечения для сегментации изображений: AMIDE, Synedra View, UniPACS DICOM viewer, Mango, XmedCon, DICOM Viewer, OsiriX, openDICOM, NET, K-PACS, Aeskulap-DICOM, пакет программ 3Dview (Россия). Все эти методы отличаются качеством сегментации изображений и степенью детализации выделяемых зон. В настоящий момент не существует универсального метода, подходящего для решения различных задач сегментации – каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки [1 - 4].

Для постпроцессинговой обработки МР-изображений чаще всего используется метод ручной сегментации, при котором оператор в ручном режиме обозначает границы каждого изображения. Это трудоёмкий процесс, требующий значительных временных затрат. Такой подход используется для сегментирования наиболее важных частей изображения и может содержать ошибки, вызванные субъективными погрешностями [5].

Полуавтоматическая сегментация заключается в том, что оператор обозначает объекты и, возможно, границы объектов на одном изображении, а затем алгоритм сегментации уточняет границы объектов.

Автоматическая сегментация основана на алгоритме, который выполняет сегментацию медицинских изображений без вмешательства человека, основываясь, например, на пространственных характеристиках таких, как стороны и края.

Наиболее часто встречающиеся способы обработки изображений для данного метода основаны на вычислении модуля градиента на всей площади цифрового изображения по при-

ближенной первой производной. Приближенные компоненты градиента вычисляются с использованием скользящей маски, которая перемещается по всему изображению. При этом пиксели изображения, попадающие в данную маску, вначале перемножаются с соответствующими коэффициентами маски, а после суммируются.

На сегодняшний день известно несколько типов масок: Робертса, Превитта, Собела, Кирша и др. У каждой маски существуют свои особенности. Наиболее удобной маской является маска Превитта, маска Робертса имеет размер 2x2 элемента, а маска Собела придает наибольший вес центральным конечным расстояниям [1].

Одним из методов выделения контуров на полутоновых растровых изображениях является метод пороговой сегментации, основанный на вычислении нормы или квадрата нормы градиента изменения яркости пикселей. Если значение нормы или квадрата нормы градиента больше порогового значения, то на новой черно-белой монохромной матрице черным цветом на белом фоне выделяют все элементы. В качестве контуров объектов на монохромной матрице принимают связанные конфигурации элементов черного цвета [6].

Еще одним методом выделения контуров изображения является сегментация методом управляемого водораздела, заключающаяся в представлении изображения как некоторой карты местности, значения яркостей определяются как значения высот относительно некоторого уровня [7 - 11].

Материалы и методы.

Для исследования различных алгоритмов сегментации были использованы такие программы, как OsiriX, MRICroN, Gimias, FreeSurfer и, для сравнения, программы, написанные авторами с использованием программного пакета Matlab.

Для проведения сегментации были выбраны 24 МРТ изображения головного мозга (табл. №1). Использованы данные открытого электронного ресурса The Lung Image Database Consortium image collection (LIDC-IDRI) [16].

Для определения оптимального и наиболее универсального средства сегментирования мозга были проанализированы четыре программных продукта, использующих разные алгоритмы и методики сегментирования.

Программный пакет OsiriX. Система OsiriX может работать с файлами формата DICOM и поддерживает протокол передачи медицинской графической информации по сети, регламентируемый стандартом DICOM. Также поддерживаются стандарты Analyze, LSM, BioRadPIC и неспециализированные графические форматы TIFF (в т. ч. многостраничные изображения), PNG, JPEG, PDF (в т. ч. многостраничные).

MRICro (Magnetic Resonance Image Conversion, viewing and analysis) – графический интерфейс визуализации и статистического анализа данных МРТ [6]. MRICro позволяет эффективно просматривать и экспортировать изображения, а также идентифицировать участки, представляющие интерес [17 - 19].

Программный пакет Gimias (Graphical Interface for Medical Image Analysis and Simulation) является бесплатным продуктом с открытым исходным кодом, распространяемым по лицензии BSD. Gimias имеет модульную архитектуру и может использоваться как самостоятельно, так и для построения узкоспециализированных продуктов. Gimias поддерживает все распространенные форматы медицинских графических изображений, в том числе DICOM, Analyze, NIFTI и другие. В состав пакета входят разнообразные модули для обработки изображений, в том числе фильтры в пространственных и частотных областях, фильтры шумов и др. [17].

FreeSurfer представляет собой набор инструментов для автоматической реконструкции и анализа поверхностных и внутренних структур головного мозга, который позволяет сегментировать белое вещество, кортикальное и субкортикальное серое вещество, вычислять такие параметры, как толщина и глубина извилин, выполнять межсубъектный анализ путем проекции индивидуальных изображений коры на сферическую поверхность стандартного размера [8 - 11].

Результаты.

Результаты сравнения программных систем приведены в таблице №2.

Программные системы (числовые обозначения): 1 - OsiriX, 2 - MRICro, 3 - программный пакет, написанный в среде Matlab – сегментация методом управляемого водораздела, 4 -

программный пакет, написанный в среде Matlab – метод пороговой сегментации, 5 - FreeSurfer, 6 - Gimia.

С помощью программ OsiriX и MRICro методом ручной сегментации были выделены желаемые области и проведена визуальная оценка патологических очагов (рис. 1).

В программном пакете Matlab с помощью метода управляемого водораздела и метода пороговой сегментации были получены STL-модели.

STL-модель, полученная методом управляемого водораздела, визуально не соответствует контурам головного мозга. Из-за нечетких границ на исходных изображениях в процессе сегментации произошел захват близлежащих тканей. Наилучшие результаты показал метод пороговой сегментации с помощью программы, написанной в пакете Matlab (табл. 3).

По результатам вычислений с помощью разработанной программы пороговой сегментации были сформированы таблицы МР-изображений головного мозга для 24 пациентов. Данные для трех пациентов приведены в таблице №4.

Для сравнения показателей объема мозга с новообразованием и с вычетом новообразования было отобрано 24 пациента с явными признаками патологий головного мозга.

Полученные данные могут быть использованы для наблюдения за динамикой изменения патологий у больных в течение лечения. Представленный в статье процесс обработки данных МР-исследований занимает около минуты, что намного сокращает время постпроцессинговой обработки изображений. На рисунке 2 графически представлены полученные данные об объеме головного мозга пациентов Vwpat и объеме патологии Vpat.

График показывает, что объемы патологий составляют от 30 до 380 см³.

Оценка достоверности результатов.

Под достоверностью статических показателей следует понимать степень их соответствия отображаемой действительности. Оценить достоверность показателей означает определить с какой вероятностью возможно перенести результаты, полученные на выборочной совокупности на всю генеральную совокупность.

Доверительные границы (доверительные интервалы) – границы средних (или относительных) величин, выход за пределы которых вследствие случайных колебаний имеет незначительную вероятность. Для большинства медико-биологических исследований доверительными считают границы, установленные с вероятностью безошибочного прогноза 95%.

Таблица №1. Характеристика и глубина залегания патологии.

Число пациентов	Глубина залегания патологии (см)	Анатомическая локализация, доля	Объем патологии (см ³)	Наличие метастазов
1	3,94	правая височная	95	+
2	5,14	правая затылочная	300	+
3	5,72	левая лобная	289	+
4	2,74	левая затылочная	185	+
5	5, 4	правая затылочная	212	+
6	5,43	правая височная	250	+
7	4,63	правая височная	210	+
8	1,84	правая височная	250	+
9	4,46	левая височная	178	+
10	5,91	правая височная	115	+
11	5,18	правая теменная	44	+
12	5,55	левая теменная	163	+
13	5,28	правая затылочная	350	+
14	4,55	правая теменная	67	-
15	2,23	правая теменная	37	-
16	4,21	правая затылочная	69	-
17	5,11	левая затылочная	319	+
18	4,14	правая теменная	299	+
19	5,19	правая височная	173	+
20	4,16	правая лобная	331	-
21	4,92	правая височная	185	+
22	5,1	левая теменная	134	+
23	4,53	левая височная	360	+
24	4,41	правая височная	109	+

Таблица №2. Результаты сравнения программных систем для визуализации и обработки медицинских изображений.

Функциональные возможности и пользовательский интерфейс						
Программная система	1	2	3	4	5	6
Универсальность методов визуализации и обработки, отсутствие узкой специализации на определённых системах человеческого организма	+	+	+	+	+	+
Сегментация изображений	+		+	+	+	+
3D-визуализация данных (воксельная или полигональная)	+	+	+	+	+	+
Интерактивная визуализация данных в трёх проекциях — аксиальной, корональной и сагиттальной	+	+	-	-	+	+
Среднее время сегментации изображений	15 мин.	10 мин.	0,2 мин.	0,2 мин.	10 мин.	9 мин.
Поддержка традиционного пользовательского интерфейса радиологических станций	+	+	-	-	+	+
Возможность правки контура	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть	Есть
Возможность построения модели сегментированного участка	-	+	+	+	+	+
Возможность подсчета объема	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет
Возможность подключения программных библиотек с закрытым исходным кодом	+	-	+	+	-	+
Возможность использования в качестве платформы для разработки программ с закрытым исходным кодом	-	-	+	+	-	+

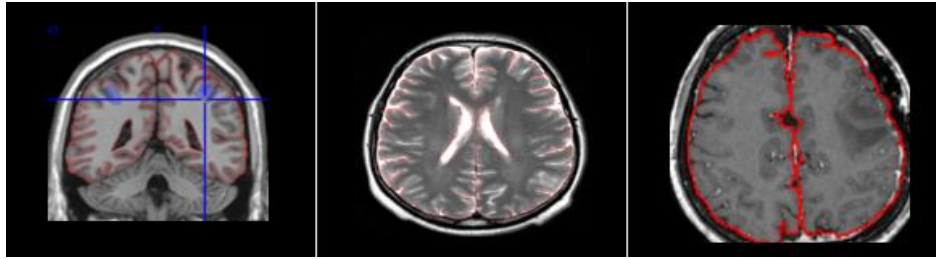


Рис. 1 а (Fig. 1 a)

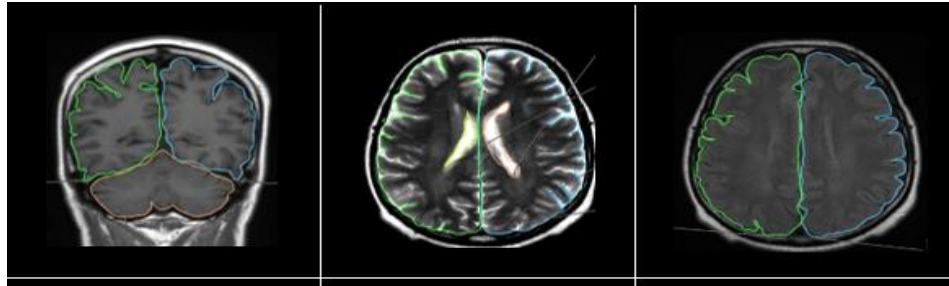


Рис. 1 б (Fig. 1 в)

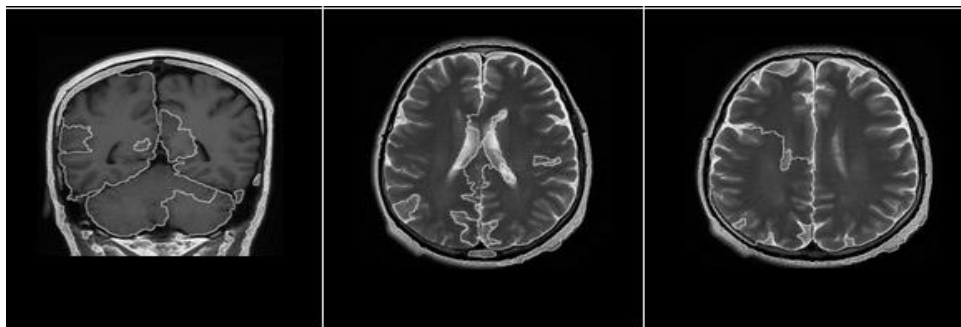


Рис. 1 в (Fig. 1 с)

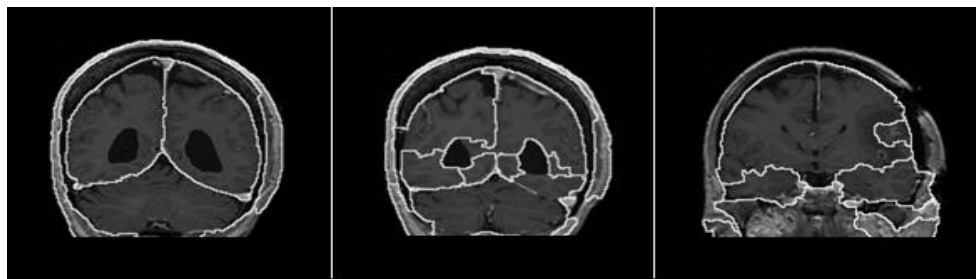


Рис. 1 г (Fig. 1 d)

Рис.1. МРТ головного мозга. Примеры сегментации изображений.

а - Изображения, сегментированные в MRICro.

б - Изображения, сегментированные в программе OsiriX.

в - Изображения, прошедшие автоматическую сегментацию методом управляемого водораздела, которая была написана в программном пакете Matlab.

г - Изображения, прошедшие автоматическую сегментацию методом пороговой сегментации, которая была написана в программном пакете Matlab.

Fig. 1. MRI, brain. Examples of images segmentation.

a - Images segmented in MRICro.

b - Images segmented in the OsiriX program.

c - Images that passed automatic segmentation using the managed watershed, which was written in the Matlab software package.

d - Images passed automatic segmentation by the threshold segmentation method, which was written in the Matlab.

Таблица № 3. Результаты, полученные после сегментирования методом управляемого водораздела и пороговой сегментации.

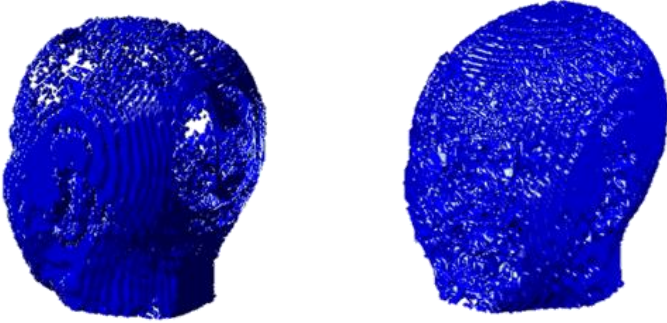
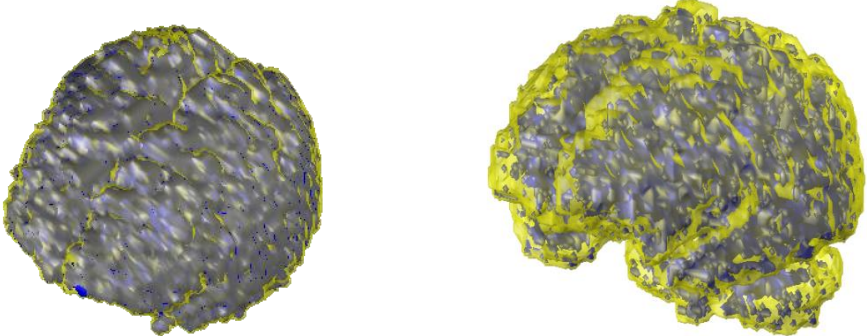
Метод управляемого водораздела (мозг)	
Метод пороговой сегментации (мозг)	

Таблица № 4. Результаты вычисления объемов головного мозга методом пороговой сегментации.

	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3
Объем мозга (см ³)	1273	1201	1334

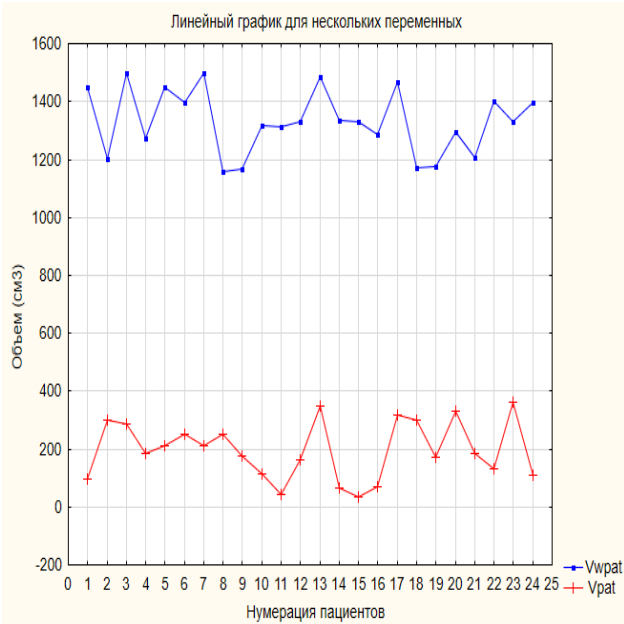


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. Линейный график для переменных Vwpat и Vpat.

Fig. 2. Linear graph. The variables Vwpat and Vpat.

Установлено с вероятностью безошибочного прогноза 95%, что средний уровень распределения в генеральной совокупности для коэффициента объема мозга с патологией $86 \leq V_{wpat} \leq 156$, а для самой патологии $78 \leq V_{pat} \leq 140$.

Для поиска нетипичных наблюдений по сочетанию пары количественных признаков построим диаграмму концентрации и найдем нетипичные значения (рис. 3).

Точки, нетипичные для нашей выборки, помечены маркером – звезда. Для нашей выборки из 24 значений нетипичных значений нет.

Для выявления больных с большими объемами патологий представлена диаграмма рассеяния переменных: объем головного мозга с патологией и объем патологии (рис. 4).

Построим диаграмму Вороного по переменным: объем головного мозга с патологией и объем патологии.

На диаграмме Вороного значения двух переменных изображаются как на диаграмме рассеяния, а затем пространство между отдельными точками данных делится границами, окружающими каждую точку данных, на области по следующему принципу: каждая точка области находится ближе к заключенной внутри точке данных, чем к любой другой соседней точке данных (рис. 5).

Данная диаграмма может быть полезна

при исследовании последующих пациентов, имеющих схожие параметры, можно проследить в какую ячейку попадут числовые значения объемов мозга и патологий. Попадание в ту же ячейку может говорить о наличии схожих признаков заболевания.

Выводы.

По результатам сравнения программных систем для визуализации и обработки медицинских изображений были выбраны две программы ручной сегментации: 1 - OsiriX, 2 - MRlcro. Показано, что наилучшие результаты показал метод пороговой сегментации с помощью программы, написанной в пакете Matlab. Доказано, что разработанная программа автоматического определения объемов позволяет получить достоверные результаты. При использовании разработанных программ был проведен статистический анализ МР-изображений 24 пациентов. Разработанные автоматические методы определения контуров и объемов позволяют быстро получить количественные данные об объемах зон интереса и могут быть полезны при быстрой постпроцессинговой обработке медицинских изображений.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

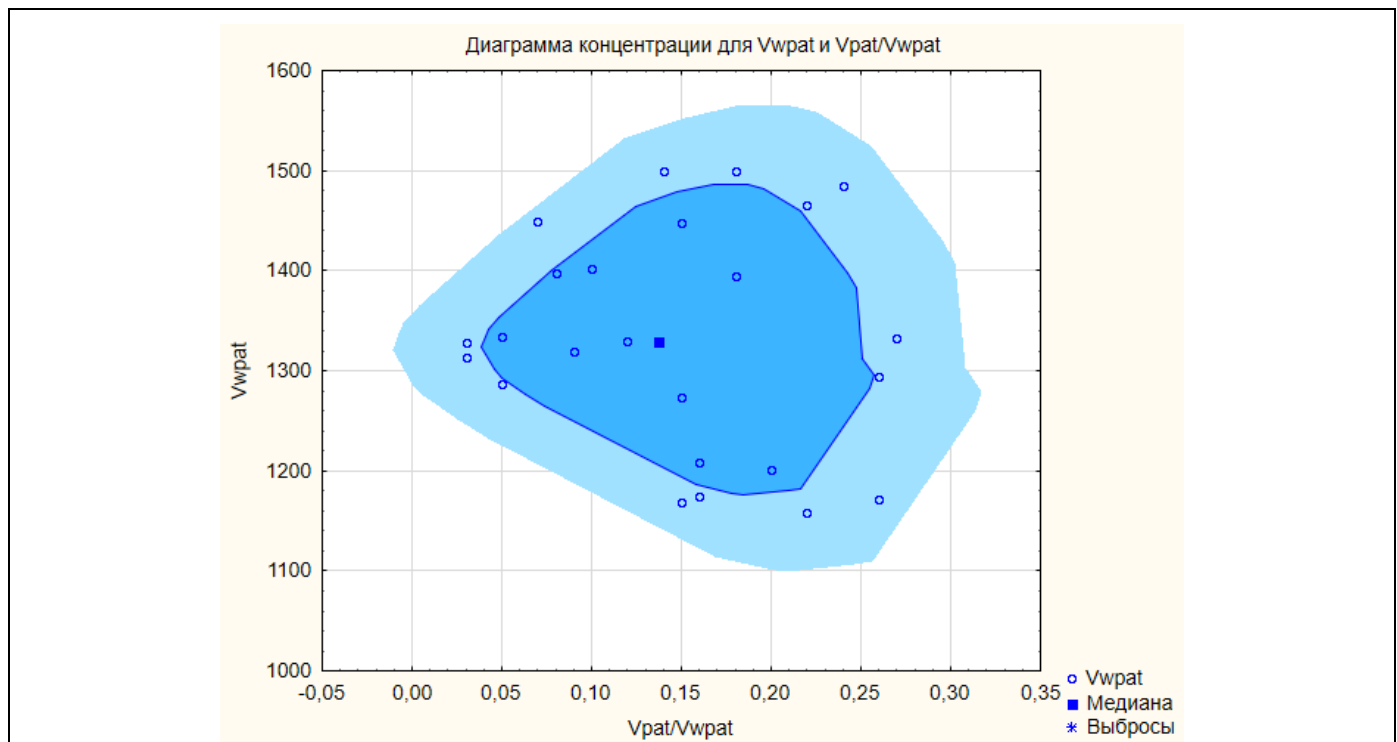


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. Диаграмма концентрации.

Fig. 3. The concentration diagram.

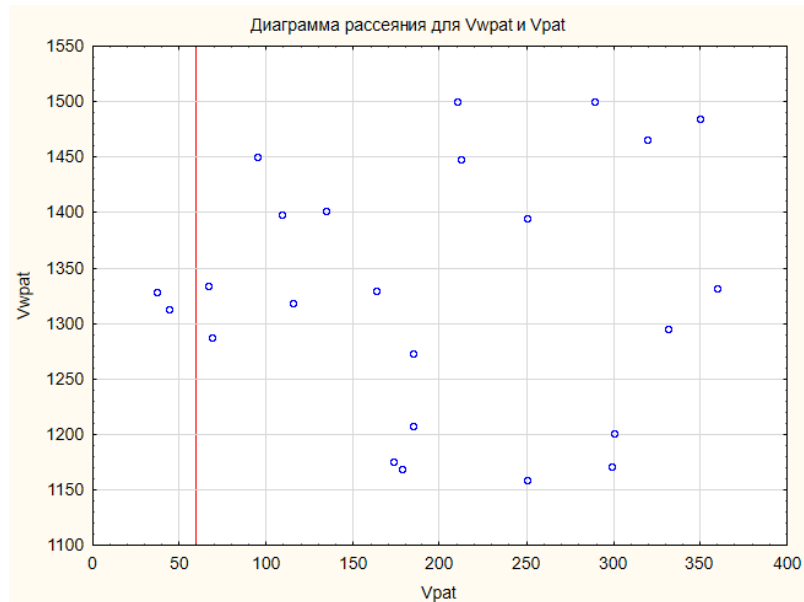


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. Диаграмма рассеяния.

Fig. 4. The scattering diagram.

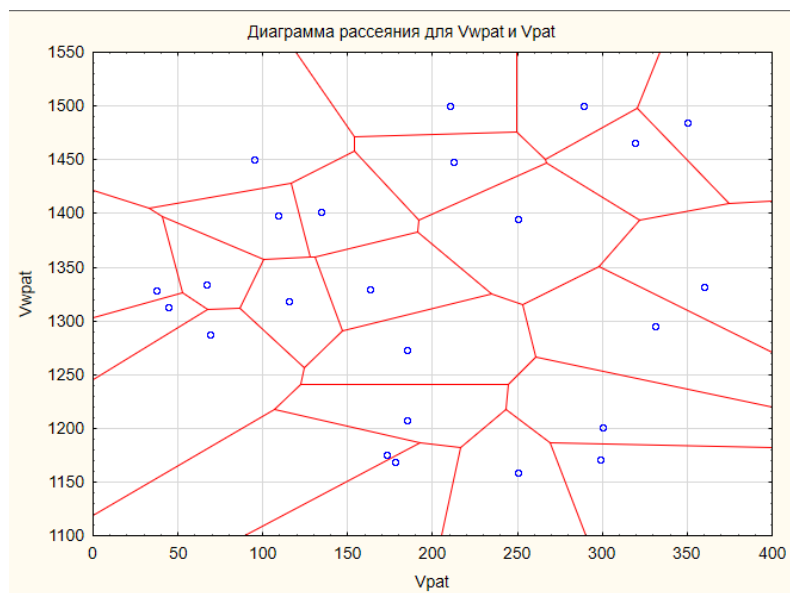


Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. Диаграмма Вороного.

Fig. 5. The Voronoy diagram.

Список литературы:

1. Хаймов, Д.А., Ефимцев А.Ю. МРТ-морфометрия в исследовании степени и локализации атрофии при болезни Паркинсона. Материалы научно-практической конференции «Лучевая диагностика социально значимых заболеваний». СПб., 2011. 58 с.
2. Хаймов Д.А., Воронков Л.В., Труфанов А.Г., Фокин В.А. МР-морфометрия головного мозга у пациентов с болезнью Паркинсона. Материалы международного VI Невского радиологического форума НРФ-2013. СПб., 2013. 5 с.
3. Хаймов Д. А. Возможности многовоксельной магнитно-резонансной морфометрии в оценке атрофии структур головного мозга у пациентов с болезнью Паркинсона. Канд.дисс. Санкт-Петербург, 2013. 113 с.
4. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М. Радио и связь, 1986. 406 с.
5. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений. М., Мир, 1982; 2: 792.
6. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений.

Часть 2. Методы и алгоритмы. Соросовский образовательный журнал 1996; 3.

7. Журавель И.М. Сегментация методом управляемого водораздела. "Краткий курс теории обработки изображений". Доступно

<http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/48.php>

8. Зубов А., Сенюкова О. Сегментация изображений магнитно-резонансной томографии головного мозга с помощью сопоставления с несколькими атласами. Труды 25-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению GraphiCon'2015. GraphiCon. Институт физико-технической информатики Протвино, 2015. С. 56-61.

9. Marusina M.Y., Sizikov V.S., Volgareva A.P. Noise suppression in the task of distinguishing the contours and segmentation of tomographic images. *Journal of Optical Technology*. 2015; 82 (10): 673-677.

10. Марусина М.Я., Волгарева А.П. Подходы к разработке автоматической сегментации томографических изображений. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2015; 5 (313): 136-141.

11. Марусина М.Я., Волгарева А.П., Толкович Д.В. Анализ принципов разработки системы популяционного скрининга онкологических заболеваний легких на основе использования рентгеновской компьютерной томографии. *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2015; 2: 79-92.

12. Буча В.В., Абламейко С.В. Алгоритм интерактивной сегментации изображений, основанный на методе динамического программирования. *Информатика*. 2006; 1 (9): 5-16.

13. База изображений The Lung Image Database Consortium image collection (LIDC-IDRI) Доступно по: <https://wiki.cancerimagingarchive.net/display/Public/LIDC-IDRI>

14. Суворов Н.Б., Марусина М.Я., Щепетов С.С., Полонский Ю.З. Отражение умственной деятельности человека в реакциях кардиореспираторной системы. *Биотехносфера*. 2013; 5 (29): 14-21.

15. Анодина-Андреевская Е.М., Божокин С.В., Марусина М.Я., Полонский Ю.З., Суворов Н.Б. Перспективные подходы к анализу информативности физиологических сигналов и медицинских изображений человека при интеллектуальной деятельности. *Изв. Вузов. Приборостроение*. 2011; 54 (7): 27-35.

16. Марусина М.Я., Суворов Н.Б., Козаченко А.В., Толкович Д.В. Синхронизация физиологических сигналов интеллектуальной деятельности человека с помощью многофункционального измерительного комплекса. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. Санкт-Петербург, СПбНИУ ИТМО. 2013; 4 (86): 49-55.

17. Толкович Д.В., Суворов Н.Б., Марусина М.Я., Козаченко А.В. Многофункциональная биотехническая система для изучения физиологических сигналов при интеллектуальной деятельности. *Научно-технические ведомости СПб ГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. СПб., Издательство Политехнического университета, 2013; 5 (181): 73-78.

18. Marusina, M.Y., Mochalina, A.P., Frolova, E.P., Satikov, V.I., Barchuk, A.A., Kuznetsov, V.I., Gaidukov, V.S., Tarakanov, S.A. MRI Image Processing Based on Fractal Analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 2017; 18 (1): 51-55. DOI:10.22034/APJCP.2017.18.1.51

19. Магонов Е.П., Трофимова Т.Н. Автоматическая сегментация МРТ-изображений головного мозга: методы и программное обеспечение. *Лучевая диагностика и терапия*. 2012; 3 (3): 35-40.

References:

1. Khaimov, D.A., Efimtsev A.Yu. MRI-morphometry in the study of the extent and localization of atrophy in Parkinson's disease. *Materials of the scientific-practical conference "Radiation diagnostics of socially significant diseases"*. 2011. 58 p. (in Russian).
2. Khaimov D.A., Voronkov L.V., Trufanov A.G., Fokin V.A. MR-morphometry of the brain in patients with Parkinson's disease. *Proceedings of the International VI Nevsky Radiological Forum of the NRF-2013*. SPb., 2013. 5 p. (in Russian).
3. Khaimov D.A. Possibilities of multi-vocal magnetic resonance morphometry in assessing the atrophy of brain structures in patients with Parkinson's disease. *Cand.Diss. St. Petersburg*, 2013. 113 p. (in Russian).
4. Pavlidis T. *Algorithms of computer graphics and image processing*. M. Radio and Communication, 1986. 406 p. (in Russian).
5. Pratt W.K. *Digital image processing*. M., Mir. 1982; 2: 792 (in Russian).
6. Soifer V.A. *Computer image processing. Part 2. Methods and algorithms*. Soros Educational Journal. 1996; 3 (in Russian).
7. Zhuravel I.M. Segmentation by the controlled watershed method "A short course of the theory of image processing" Available at: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/48.php> (in Russian).
8. Zubov A., Senyukova O. Segmentation of images of magnetic resonance imaging of the brain with the help of comparison with

- several atlases. *Proceedings of the 25th International Conference on Computer Graphics and Vision GraphCon'2015*. GraphiCon. Institute of Physical and Technical Informatics Protvino. 2015. P. 56-61 (in Russian).
9. Marusina M.Y., Sizikov V.S., Volgareva A.P. Noise suppression in the task of distinguishing the contours and segmentation of the tomographic images. *Journal of Optical Technology*. 2015; 82 (10): 673-677.
10. Marusina M.Ya., Volgareva A.P. Approaches to the development of automatic segmentation of tomographic images. *Fundamental and applied problems of technology and technology*. 2015; 5 (313): 136-141 (in Russian).
11. Marusina M.Ya., Volgareva A.P., Tolkovich D.V. An analysis of the principles for the development of a population-based screening system for lung cancer based on the use of X-ray computed tomography. *Pre-Caspian Journal: Management and High Technologies*. 2015; 2: 79-92 (in Russian).
12. Bucha VV, Ablameiko C.B. Algorithm of interactive image segmentation, based on the method of dynamic programming. *Informatics*. 2006; 1 (9): 5-16 (in Russian).
13. The Lung Image Database Consortium image collection (LIDC-IDRI); Available at: <https://wiki.cancerimagingarchive.net/display/Public/LIDC-IDRI>
14. Suvorov NB, Marusina M.Ya., Schepetov SS, Polonsky Yu.Z. Reflection of the human mental activity in the reactions of the

cardiorespiratory system. *Biotechnosphere*. 2013; 5 (29): 14-21 (in Russian).

15. Anodina-Andrievskaya EM, Bozhokin SV, Marusina M.Ya., Polonsky Yu.Z., Suvorov N.B. Perspective approaches to the analysis of the informativeness of physiological signals and medical images of a person in the course of intellectual activity. *Izv. Higher education. Instrument making*. 2011; 54 (7): 27-35 (in Russian).

16. Marusina M.Ya., Suvorov NB, Kozachenko AV, Tolkovich DV Synchronization of physiological signals of human intellectual activity using a multifunctional measuring complex. *Scientific and Technical Herald of Information Technologies, Mechanics and Optics*. St. Petersburg: SPbNIU ITMO. 2013; 4 (86): 49-55 (in Russian).

17. Tolkovich DV, Suvorov NB, Marusina M. Ya., Kozachenko A.

V. Multifunctional Biotechnical System for Studying Physiological Signals in Intellectual Activity. *Scientific and Technical Statements of St. Petersburg State University. Computer science. Telecommunications. Control*. SPb., Publishing house of Polytechnic University, 2013. Release of NTV-ITU. 2013; 5 (181): 73-78 (in Russian).

18. Marusina, M.Y., Mochalina, A. P., Frolova, E.P., Satikov, V. I., Barchuk, A. A., Kuznetsov, V. I., Gaidukov, V.S., Tarakanov, S.A. MRI Image Processing Based on Fractal Analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 2017; 18 (1): 51-55. DOI:10.22034/APJCP.2017.18.1.51

19. Magonov E.P., Trofimova T.N. Automated segmentation of MRI images of the brain: methods and software. *Radiation diagnostics and therapy*. 2012; 3 (3): 35-40 (in Russian).