

УДК 004.032.26:61

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОБЪЕМОВ ГЛАЗНИЦ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЁТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ. КОСТЕЙ ЛИЦЕВОГО ЧЕРЕПА



О.С. Медведев

аспирант, инженер-программист,
кафедра ИПиЭ БГУИР



О.Н. Дудич

кандидат медицинских наук, доцент,
кафедра офтальмологии, БелМАПО



В.Л. Красильникова

доктор медицинских наук, профессор,
кафедра офтальмологии БелМАПО



В.С. Осипович

кандидат технических наук, доцент, кафедра ИПиЭ БГУИР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Республика Беларусь, Минск

Белорусская медицинская академия последипломного образования, отделение офтальмологии, Республика Беларусь, Минск

E-mail: o.med@bsuir.by

О.С. Медведев

В 2013 году окончил БГУИР, специальность «Инженерно-психологическое обеспечение информационных технологий». Квалификация инженер-системотехник. В 2019 году окончил магистратуру по специальности «Управление безопасностью производственных процессов» с присвоением академической степени магистра техники и технологии. Ведет курсы «CISCO».

О.Н. Дудич

Окончила Саратовский государственный медицинский институт по специальности «Лечебное дело». Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук на тему «Профилактика послеоперационных воспалительных осложнений в хирургии возрастной катаракты с использованием инъекционной формы кислоты ацетилсалициловой». Является автором 62 печатных работ, 1 патента, 10 учебнометодических пособий, 5 инструкций по применению. Основной исполнитель научного проекта «Разработка и внедрение изделия на основе нерезорбируемых материалов для устранения посттравматических дефектов и деформаций глазницы и глазничного органакомплекса с использованием технологий 3D моделирования и прототипирования».

В.Л. Красильникова

Окончила Гродненский государственный медицинский институт по специальности «Лечебное дело». Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. В 2007 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора медицинских наук на тему «Медико-социальная реабилитация пациентов с анофтальмом с помощью композиционного офтальмологического

имплантата: клиникоэкспериментальное исследование». Является автором более 130 печатных работ, 5 патентов, 10 учебно-Пятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», Минск, Республика Беларусь, 13-14 марта 2019 года 55 методических пособий, 3 инструкций по применению. Под ее руководством защищена 1 диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Научный руководитель проекта «Разработка и внедрение изделия на основе нерезорбируемых материалов для устранения посттравматических дефектов и деформаций глазницы и глазничного органокомплекса с использованием технологий 3D моделирования и прототипирования».

В.С. Осипович

В 2004 году окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «микроэлектроника», а в 2005 году получил степень магистра по той же специальности. В 2010 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по приборам, системам и медицинской технике. Он является автором 115 публикаций, 2 патентов, 12 учебных пособий. Ежегодно он устно выступает на международных научных форумах. Основные направления научной деятельности: разработка алгоритмов и технологий обработки больших данных, исследования и разработки в области программной обработки медицинских изображений.

Аннотация. Представлены результаты сравнительного анализа двух методов расчета объема глазниц. Показана эффективность автоматизированного расчёта объёма глазниц с использованием программного обеспечения с точки зрения затрат времени и точности в сравнении с применяемыми методиками.

Ключевые слова: костные структуры глазницы, экстраокулярные мышцы, усеченный конус, нейронная сеть.

Введение

На сегодняшний день предлагается множество методов анализа медицинских и изображений [1].

В то же время, анализ изображений, полученных с применением микроспирального компьютерного томографа MSCT в формате DICOM, и трехмерная реконструкция костей лицевого черепа, позволяет хирургу более надежно оценить анатомические особенности отдельного пациента, локализацию, границы и распространенность патологического процесса, и планировать объем операции [2-5]. Диагностика и анализ состояния осуществляется с использованием расчёта ряда параметров глазниц: объём здоровой и повреждённой глазниц, дистопия повреждённого глазного яблока. Для расчёта объёма в настоящее время используют методы приблизительного расчёта на основе вписанных конусов [6]. Кроме того, для ускорения анализа и процесса подготовки к операции создаётся специализированное программное обеспечение [7].

Целью работы является сравнительный анализ результатов расчёта костного объёма глазниц, полученных с помощью метода вписывания усеченных конусов [8], и с использованием специализированного программного средства, которое осуществляет поиск косной орбиты с использованием искусственной нейронной сети.

Методика эксперимента

Осуществим расчёт объёмов костных глазниц семи пациентов двумя методами. Метод 1 заключается во вписывании трёх усечённых конусов в костную глазницу и расчёт объёма полученной фигуры. Этот метод можно назвать ручным методом. Метод 2 заключается в послойном поиске контура котной глазницы и дальнейшем расчёте объёма полученной трёхмерной модели.

Метод 1 был применён следующим образом. В методе 1 использовали проектирование в 3d slicer, а также расчет объема глазницы при помощи сумм усечённого конуса [8]. Из исходного DICOM файла, полученного на основе компьютерной томографии при помощи программного средства 3d slicer была отстроена трехмерная модель черепа. Далее с помощью инструментов программы 3d slicer расставлялись реперные точки DICOM в узловых местах костной орбиты глаза. Заключительным этапом с помощью, встроенной в 3d slicer линейки, были проведены замеры между реперными точками.

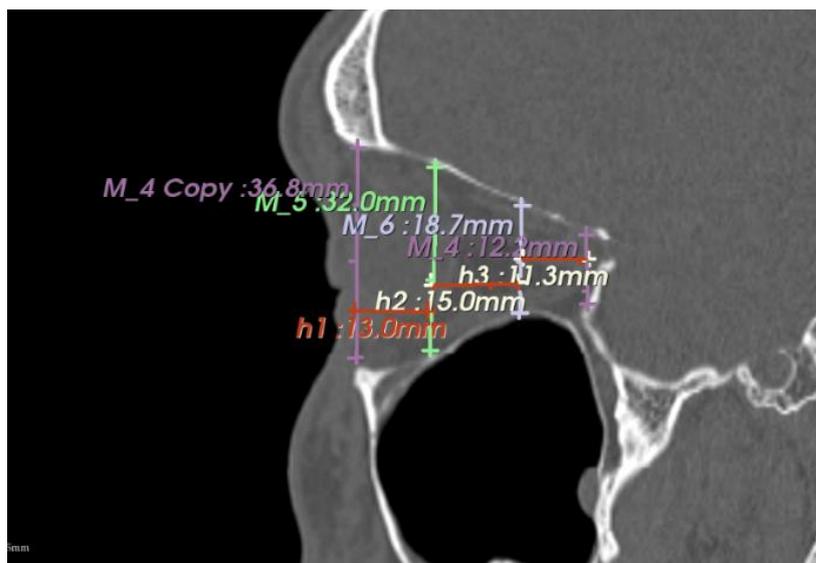


Рисунок 1. Определение реперных точек и определение расстояния между ними в 3d Sliser

Полученные в ходе эксперимента размеры были использованы для расчетов по формуле (1), а результаты расчетов были просуммированы для получения значения объема глазницы (рис. 2) [10].

$$V = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) \quad (1)$$

где π – константа равная (3,14); r_1 – радиус верхнего основания;

r_2 – радиус нижнего основания;

h – высота усеченного конуса.

V – объем усеченного конуса

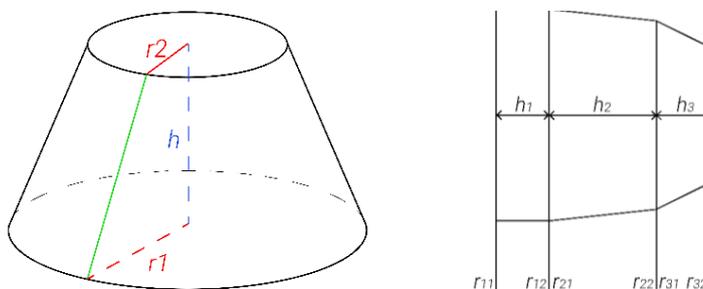


Рисунок 2. Расчетная модель для расчета усечённого конуса

Метод 2 был применён следующим образом. В целом, алгоритм работы программного средства в режиме поиска контуров глазницы, глазного яблока и расчёта их объёмов состоит из следующих трёх процедур:

–распознавание нейронной сетью по входным изображениям в формате DICOM контуров глазниц и их разметка;

–проверка верности разметки правой и левой глазниц, а также глазных яблок корректировка [10-11];

–расчёт объёмов глазниц и вывод результатов через интерфейс пользователя.

Для расчёта объёма глазниц программное обеспечение использует следующую формулу:

$$V = N \times a^2 \times h \quad (2)$$

где N – количество пикселей, размеченных, как часть глазницы;
 a – длина стороны пикселя, мм;
 h – расстояние между слоями, мм.

Значения длины стороны пикселя a и расстояния между слоями h зависят от технических характеристик и разрешающей способности аппарата микроспиральной компьютерной томографии. В нашем случае разрешение исходных DICOM файлов составляет 512x512 пикселей и $a = 0,455$ мм, а расстояние между слоями $h = 0,625$ мм.

Хронометраж проводился с помощью часов, время начального и конечного этапа расчетов фиксировалась в таблицу на против номера объекта исследования.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения расчётов были получены следующие результаты. Промежуточный результат вычислений при использовании метода 1 продемонстрирован в таблице 1 и таблице 2, а именно данные, полученные на основе измерений смоделированного в 3d slicer трехмерной модели черепа.

Таблица 1. Результаты измерений, полученные в 3d Slicer (при помощи инструмента «Rule» – установка реперных точек с измерением промежуточного расстояния) для правой глазницы.

ФИО	Размеры между реперными точками правой глазницы, мм								
	r_{11}	r_{21}	h_1	r_{12}	r_{22}	h_2	r_{13}	r_{23}	h_3
Пациент 1	39,9	33,1	13,5	33,1	21	10,8	21	16,7	13,1
Пациент 2	28,1	26,2	12,4	26,2	20,3	11,9	20,3	15,2	11,5
Пациент 3	26,8	29,1	9,91	29,1	22,4	11,5	22,4	15,5	13,8
Пациент 4	31,1	38,1	12,1	38,1	30,8	10,8	30,8	13,7	22,4
Пациент 5	34,3	30,8	12,6	30,8	24,4	11,7	24,4	18,5	12,4
Пациент 6	35,8	34,4	13,2	34,4	30,6	10,7	30,6	17,9	10,3
Пациент 7	38,2	34,2	11,3	34,2	28,5	13,8	28,5	17,4	12,1

Таблица 2. Результаты измерений полученные в 3d Slicer (при помощи инструмента «Rule» – установка реперных точек с измерением промежуточного расстояния) для левой глазницы.

ФИО	Размеры между реперными точками левой глазницы, мм								
	r_{11}	r_{21}	h_1	r_{12}	r_{22}	h_2	r_{13}	r_{23}	h_3
Пациент 1	38,1	38,1	14,3	38,1	32,6	13,7	32,6	23	10,8
Пациент 2	32,9	34,8	14,8	34,8	22,7	9,41	22,7	28,4	8,96
Пациент 3	29,8	33,2	9,47	33,2	29,4	11,6	29,4	24,4	9,76
Пациент 4	28,1	35,6	14,1	35,6	27,9	15,2	27,9	12,2	13,5
Пациент 5	34,4	33,8	13,8	33,8	25,8	13	25,8	18,9	13,3
Пациент 6	28,9	34	10,1	34	31,2	13	31,2	18,8	13,5
Пациент 7	33,9	30,2	13,5	30,2	26,1	11,1	26,1	15,2	13,5

Результатов расчёта объёмов по двум анализируемым методам отражены в таблице 3. Для визуализации и анализа результатов расчётов были отстроены вставки, имитирующие объемы глазниц, полученные двумя методами. Отстроенные трёхмерные модели конуса были совмещены с фрагментом модели черепа (рис. 3). Как видно на рисунке 3 правая глазница после совмещения имитирующей объем глазницы вставки в ней остаётся свободное пространство между костью и моделью глазницы, собранной из конусов (отмечены зеленым цветом). То есть метод 1 при расчёте объёма глазницы, в данном случае, будет иметь место погрешность в меньшую сторону. Имеет место и обратная ситуация, когда из-за перелома нижней стенки после расстановки реперных точек и построения усечённых конусов, трёхмерная модель вставки выходит за граница костной глазницы. В этом случае будет иметь место погрешность в большую сторону.

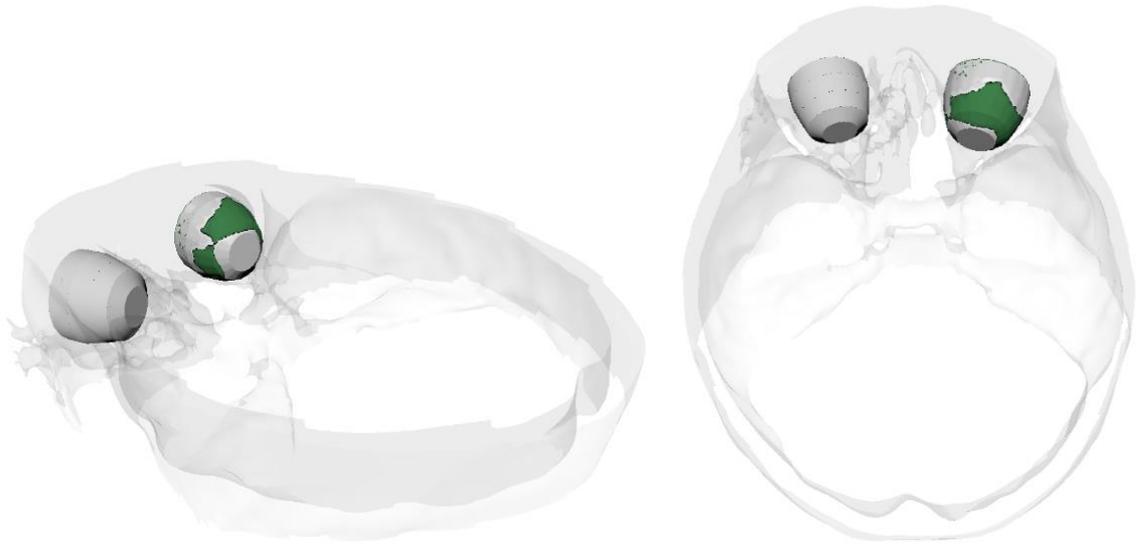


Рисунок 3. Результаты совмещения трёхмерных моделей конусов, использованных для расчёта с трёхмерной моделью костей глазницы

Для визуализации отличий в двух методах в трёхмерном пространстве было осуществлено вычитание трёхмерной модели усечённых конусов из трёхмерной модели глазницы, полученной из результатов послойного поиска контура костной глазницы с использованием нейронной сети. Результат вычитания отражён на рисунке 4.

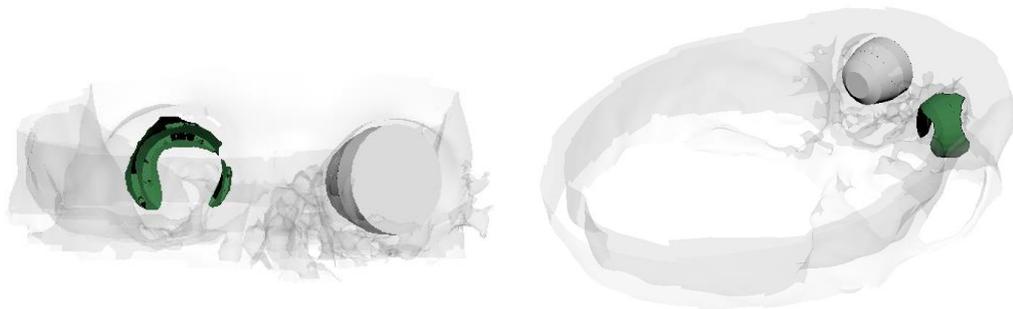


Рисунок 4. Результат вычитания трёхмерной модели конусов из трёхмерной модели глазницы, полученной с использованием программного обеспечения, показан на примере правого глаза

Как можно заметить по таблице 3 и рисунку 4 результаты расчёта объёмов костных глазниц, имеют следующие отличия:

- Средняя Разница результатов расчёта объёмов всех глазниц составляет 11,2%;
- Разница результатов расчёта объёмов для здоровых глазниц – от 0,76 до 8,18%, среднее значение составило 3,01%
- Разница результатов расчёта объёмов для травмированных глазниц – от 15,58 до 19,5 среднее значение составило 18,52%

При этом, следует отметить, что результат и точность расчёта объёма костной глазницы зависит от квалификации специалиста, который выбирает реперные метки.

В объёмах костной глазницы наибольшая разница результатов двух методик обнаружена в местах, где глазница либо имеет повреждения, либо имеет врожденный дефект относительно формы глаза. Это связано с тем, что в методе 1 существует сложность с расчетом мест дефекта глазницы.

На расчет объема одной костной глазницы методом 1 уходит от получаса до часа, а методом

2 не более 8 минут.

Таблица 3. Сравнение результатов расчета объемов, полученных методами 1 и 2.

Объект исследования	Объём костной глазницы, мм ³					
	Метод 1 (3d Slicer расчет усечённых конусов)		Метод 2 (Нейронная сеть)		Разница полученных объемов при расчетах разными методами, %	
	правая	левая	правая	левая	Правая глазница	Левая глазница
Пациент 1	24136	36378	25961	37166	7,56	2,12
Пациент 2	24122	15118	28572,57	18 141,6	15,58	20
Пациент 3	21875	16033	23664,24	19 159,43	8,18	19,5
Пациент 4	30964	27845	31199,04	28488,27	0,76	2,31
Пациент 5	26970	22024	32106,13	26262,51	19,04	19,24
Пациент 6	25471	26513	25538,57	28074,66	0,27	5,89
Пациент 7	22438	27412	26213,68	35981,61	16,83	19,45

Выводы

Установлено, что результат расчёта объёмов костных глазниц с использованием методов 1 и 2 в среднем имеют – 11,2% для, 18,52 для травмированных глазниц и 3,01 для здоровых глазниц. Высокий уровень расхождения значений наиболее заметен в глазницах имеющих повреждения либо врождённые дефекты. Так же метод 2 имеет существенное преимущество по временным параметрам: быстрее в 10 раз, так как не требует выполнения операций исследователем.

Список литературы

- [1] Information Fusion 66 (2021) 111–137 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/journal/information-fusion> (дата обращения: 25.03.2021).
- [2] Masalitina N.N., Kurochka K.S. (2017) The automated classification of computer tomography results for lumbar spine geometric modeling. Doklady BGUIR. (3), Pp. 12-19.
- [3] Patent 2000125015/14 RF A61B 17/80, A61B 17/56, A61F 2/28. Rybalchenkov's plate for reconstructing damaged bone structures of cheekbone, eye-socket and upper jaw complex and the way of reconstructing damaged bone structures of cheekbone, eye-socket and upper jaw complex with this plate. / Rybalchenko G.N.; Closed Joint Stock Company "KONMET Incorporated", Rybalchenko G.N. – Application № 2202302, 04.10.2000; published 20.04.2003.
- [4] Patent 2000116451/14 RF A61 F2/28. Method manufacturing an individual precision implant for compensation of complex subtotal polyostotic eye-socket defect. / Shalumov A. – S.Z.; Shalumov A. – S.Z. – Application № 2164392, 27.06.2000; published 27.03.2001.
- [5] Digital imaging and communications in medicine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dicomstandard.org/current/> (дата обращения: 25.01.2020).
- [6] Levchenko O.V., Krylov V.V., Davydov D.V., Lezhnev D.A., Mikhayliukov V.M., Sharifullin F.A., Kostenko D.I. The computer tomography for estimation of surgical reconstruction efficacy for treatment of posttraumatic defects and orbit deformations. Russian journal of neurosurgery. 2014, (1): Pp. 29-33.
- [7] A. Karakulko, O. Medvedev, P. Moroz, A. Dudzich, V. Krasilnikova, V. Osipovich, K. Yashin. Use of the neural network in processing of medical images and calculation of volume of the eye. Big Data and Advanced Analytics Conference. 2020, (1): Pp. 294-302
- [8] Levchenko O.V., Mikhailiukov V.M., Davydov D.V. Frameless navigation system for surgical treatment of posttraumatic defects and craniocorbital deformations. Russian journal of neurosurgery. 2013, (3): Pp. 9-14.
- [9] Davydov D.V., Lezhnev D.A., Kostenko D.I. Diagnostic MSCT and Planning for Surgical Treatment for Patients with Orbital-Wall Injuries and Post-Traumatic Deformities. Doctor.ru. Gastroen-terology 1(118), 2016, Pp. 116-120
- [10] Aggregation Network for Instance Segmentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1803.01534> (дата обращения: 25.01.2020).
- [11] Mask R-CNN for object detection and instance segmentation on Keras and TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/matterport/Mask_RCNN/ (дата обращения: 25.01.2020).

VERIFICATION OF THE METHOD FOR CALCULATING THE VOLUME OF THE EYEBOW USING THE METHOD FOR CALCULATING THE TRUNCATED CONE.

O. MEDVEDEV

*Engineer of Human
Engineering and Ergonomics,
Master of Technical Science*

V. KRASILNIKOVA

*M.D., Professor, Department of
Ophthalmology, Belarusian
medical academy of postgraduate education*

A. DUDZICH

*M.D., associate professor, Department of
Ophthalmology, Belarusian medical academy of
postgraduate education.*

V. OSIPOVICH, PhD

*Associate Professor, the
Chair of Engineering Psychology and Ergonomics*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus, Minsk
Belarus Medical Academy of Postgraduate Education, Republic of Belarus, Minsk
E-mail: o.med@bsuir.by*

Abstract. The results of a comparative analysis of two methods for calculating the volume of the orbit are presented. The effectiveness of the automated calculation of the volume of the eye sockets using software is shown in terms of time and accuracy in comparison with the methods used.

Keywords: bone structures of the orbit, extraocular muscles, truncated cone, neural network.