

Применение метода компьютерной томографии для изучения топографии теменных и сосцевидных отверстий на наружной поверхности черепа взрослого человека

Татур А. А.¹, Денисов С. Д.², Левина Д. И.³

¹Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова», г. Минск, Республика Беларусь;

²Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Республика Беларусь;

³Государственное учреждение «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии», г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. Метод компьютерной томографии является хорошей альтернативой для проведения анатомических исследований, однако в современной литературе имеются лишь работы, в которых проведено сравнение линейных размеров, полученных в результате прямых и цифровых измерений. Но в ряде случаев для проведения исследования необходимо применение сложных криволинейных расстояний. В данной работе нами проведено сравнение прямых линейных и криволинейных измерений, проведенных на четырех черепах и аналогичных из-

мерений, выполненных в цифровом виде на компьютерных томограммах этих же анатомических образцов по разработанной нами схеме.

Ключевые слова: теменные отверстия, сосцевидные отверстия, компьютерная томография, линейные измерения, криволинейные измерения.

Введение. Изучение и описание топографии столь малых и непостоянных костных структур на поверхности черепа таких, как теменное отверстие и сосцевидное отверстие классическими анатомическими методами имеет ряд серьезных ограничений: проблемы с доступностью трупного материала, трудоемкость и длительность процесса препарирования, необходимость проведения исследований в лабораторных условиях, дороговизна подобных исследований, невозможность описания топографии и определения возрастных и гендерных корреляций при изучении отдельных, не имеющих данных по возрасту и полу костей и целых черепов, невозможность в ряде случаев отличить отверстие от дефекта наружной кортикальной пластинки теменной кости. В настоящее время компьютерная томография является, пожалуй, одним из самых мощных и доступных альтернативных инструментов для проведения анатомических исследований, дает возможность изучать анатомию срез за срезом на тех участках человеческого тела, где выполнение аналогичных исследований классическими методами затруднено [1, 2]. С момента изобретения первого КТ-сканера Годфреем Хаунсфилдом в 1972 г., устройства стали более сложными и нашли свое применение практически во всех сферах медицины. Принцип работы современных аппаратов основан на компьютерной реконструкции, так называемая спиральная компьютерная томография. По сравнению с применяемыми ранее в анатомических исследованиях классическими рентгенограммами, компьютерная томография обладает большей точностью и лишена таких недостатков, как геометрические искажения и структурные наложения [3]. В настоящее время опубликован ряд работ, посвященных изучению точности измерений на компьютерных томограммах, их соответствие измерениям, полученным на анатомических образцах, но во всех этих работах [4, 5] имеется один существенный недостаток: авторами проводится исследование краниальной анатомии и сравнение ее с результатами КТ-исследований только с применением линейных измерений (максимальная длина черепа, максимальная ширина черепа, бизигматическое расстояние, биаурикулярное расстояние и др.), хотя метод компьютерной томографии и имеющееся на сегодняшний день программное обеспечение позволяют выполнять абсолютно любые криволинейные измерения.

Цель работы — разработка методики описания топографии теменных и сосцевидных отверстий, проведение корреляции результатов прямых и цифровых линейных и криволинейных измерений.

Материалы и методы. Материалом для изучения являлись три целых черепа (образцы № 1–3) и один череп с частично удаленным сводом черепа (образец № 4) из коллекции кафедры Оперативной хирургии и топографической анатомии УО БГМУ. Для преодоления ограничений размера выборки и возможности выполнения статистического анализа все измерения нами выполнялись шестикратно для каждого образца. Для проверки соответствия цифровых и прямых измерений теменного отверстия использованы образцы № 1–3 (образец 4 исключен ввиду частичного отсутствия свода черепа), а для сосцевидного отверстия образцы № 1, 2 и 4 (образец № 3 исключен ввиду частичного отсутствия сосцевидного отростка). Компьютерные томограммы анатомических образцов выполнены с толщиной среза 1 мм на компьютерном томографе Toshiba Aquilion ONE 640, в ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии».

Для описания топографии для каждого отверстия разработана оригинальная схема, которая применялась как для классического измерения, так и для цифрового.

Схема описания топографии теменных отверстий (нТО) (рисунок 1)

1. Проведение линии назион-инион (НИ), измерение ее длины в миллиметрах (рисунок 1, 2).
2. Проведение перпендикуляра от внутреннего края теменного отверстия до линии назион-инион (нТО-НИ), измерение ее длины в миллиметрах (рисунок 1, 4).
3. Проведение перпендикуляра от переднего края теменного отверстия до линии назион-инион (прнТО-НИ), измерение удаленности этой точки от назион (Н-прнТО-НИ) в миллиметрах (рисунок 1, 3).
4. Измерение максимальных взаимно перпендикулярных линейных размеров отверстия в сагиттальной и аксиальной плоскости (рисунок 1, 1).
5. Вычисление площади отверстия по формуле площади эллипса.

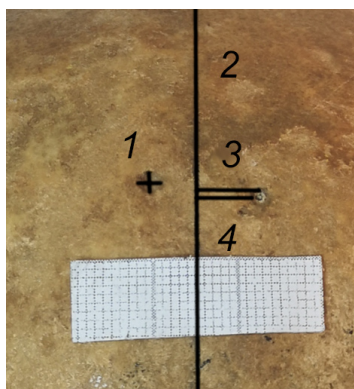


Рисунок 1 — Схема проведения топографического исследования теменного отверстия на костном материале (описание в тексте)

Схема описания топографии сосцевидных отверстий (рисунок 2)

1. Проведение линии инион-верхушка сосцевидного отростка (И-ВСО), измерение ее длины в миллиметрах (рисунок 2, желтая линия).
2. Проведение линии верхушка сосцевидного отростка-астерион (ВСО-А), измерение ее длины в миллиметрах (рисунок 2, красная линия).
3. Проведение перпендикуляра от нижнего края сосцевидного отверстия до линии И-ВСО (прНСО-И-ВСО), измерение ее длины в миллиметрах (рисунок 2, нижняя черная линия).
4. Измерение длины от верхушки сосцевидного отростка до места пересечения И-ВСО и перпендикуляра от нижнего края сосцевидного отверстия (ВСО-прНСО-И-ВСО), измерение ее длины в миллиметрах. (рисунок 2, желтая скобка).
5. Проведение перпендикуляра от верхнего края сосцевидного отверстия до линии ВСО-А (прНСО-ВСО-А), измерение ее длины в миллиметрах. (рисунок 2, нижняя черная линия).
6. Проведение линии от верхушки сосцевидного отростка до места пересечения ВСО-А и перпендикуляра от верхнего края сосцевидного отверстия (ВСО-прНСО-ВСО-А), измерение ее длины в миллиметрах (рисунок 2, красная скобка).
7. Измерение максимальных взаимно перпендикулярных линейных размеров отверстия в сагитальной и аксиальной плоскостях, также как при измерении теменного отверстия.
8. Вычисление площади отверстия по формуле площади эллипса.

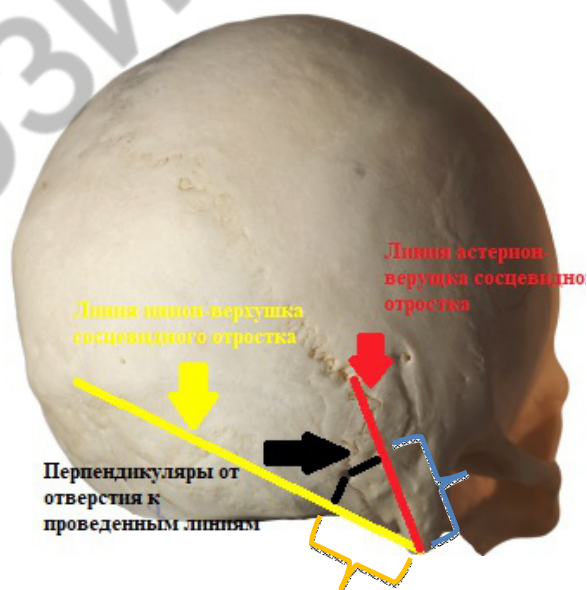


Рисунок 2 — Схема проведения топографического исследования сосцевидного отверстия на костном материале (описание в тексте)

Методика цифровой краниометрии теменных отверстий. Изучение компьютерных томограмм выполнялось в режиме костного окна при помощи программного комплекса 3DSlicer версии 4.8.1. При помощи встроенного модуля DICOMBrowser данные компьютерных томограмм в формате DICOM загружались в программный комплекс. Анализ изображения осуществлялся в аксиальной и сагиттальной плоскостях. В аксиальной плоскости производился поиск теменных отверстий (рис. 3), в сагиттальной — краниометрических точек назион и инион (рисунок 4), выставление точек интереса в сагиттальной плоскости, проходящей через серп мозга, по своду черепа (рисунок 5).

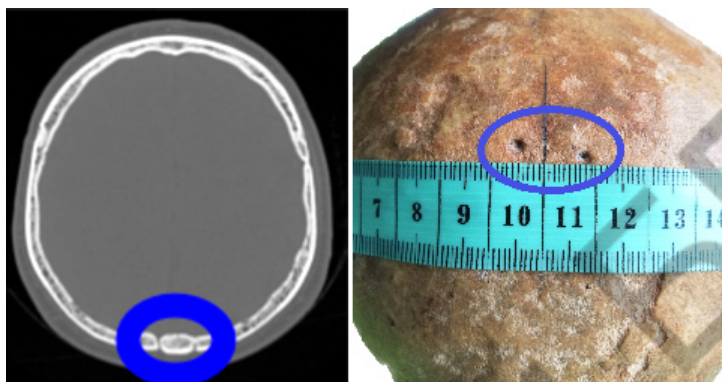


Рисунок 3 — Вид КТ-исследования и анатомического образца в аксиальной плоскости (синим кругом отмечены теменные отверстия с двух сторон)

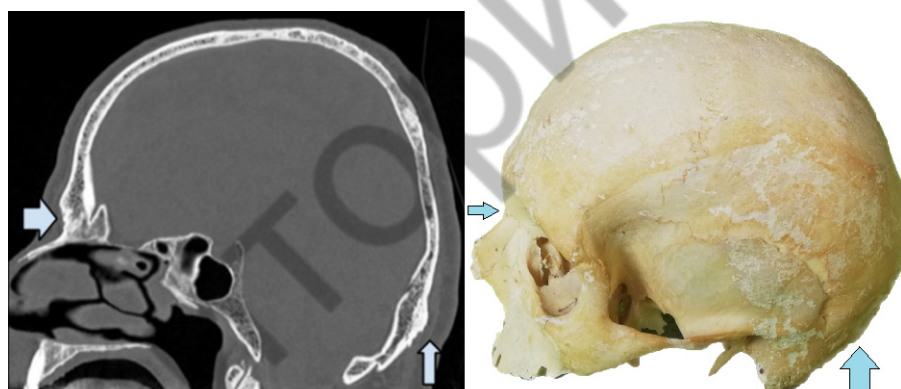


Рисунок 4 — Вид КТ-исследования и анатомического образца в сагиттальной плоскости (стрелками отмечены назион и инион)

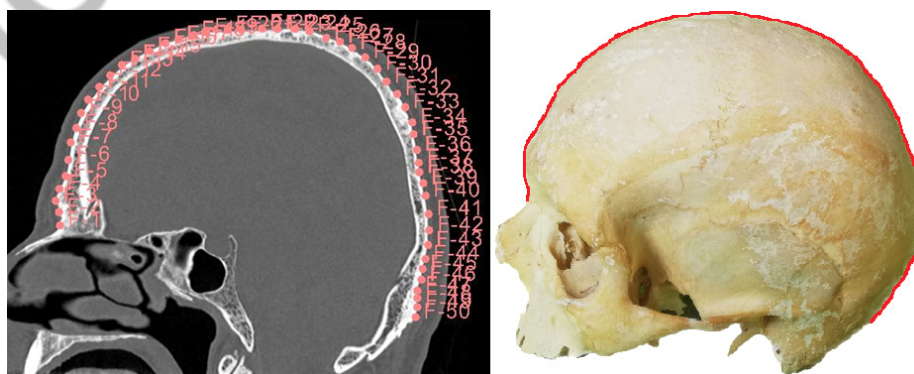


Рисунок 5 — Вид КТ-исследования и анатомического образца в сагиттальной плоскости с отмеченными точками интереса, выставленными от назион до инион в сагиттальной плоскости, проходящий через серп мозга

При помощи модуля CurveMaker на основе выделенных точек выполнялось построение линии назион-нион и измерение ее длины (рисунок 6), при помощи модуля VolumeRendering строилась объемная модель (рисунок 7).

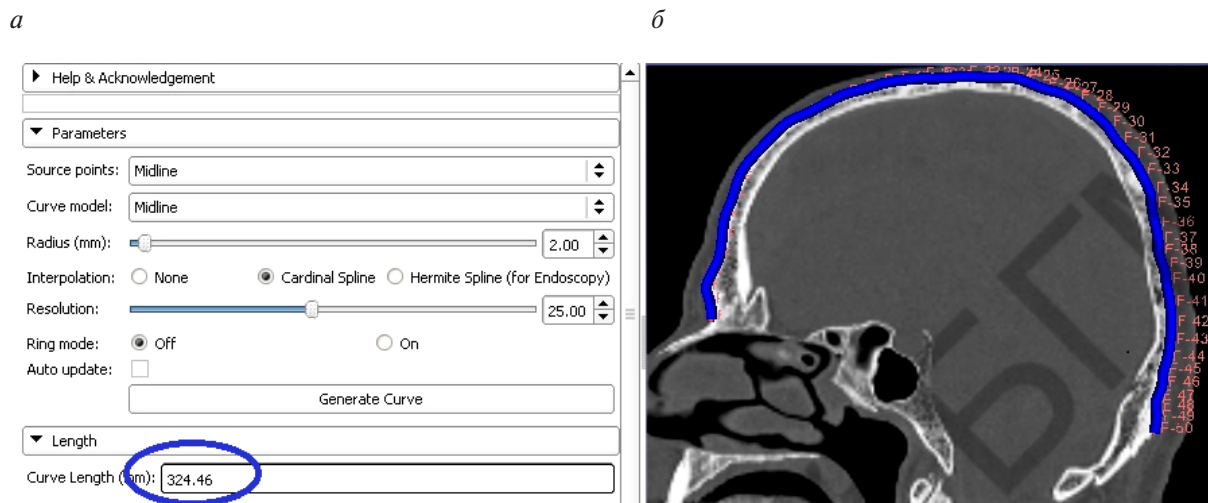


Рисунок 6 — Пример работы модуля CurveMaker:

a — построенная по выделенным заранее точкам интереса линия назион-нион; *б* — кружком отмечена длина линии назион-нион в миллиметрах

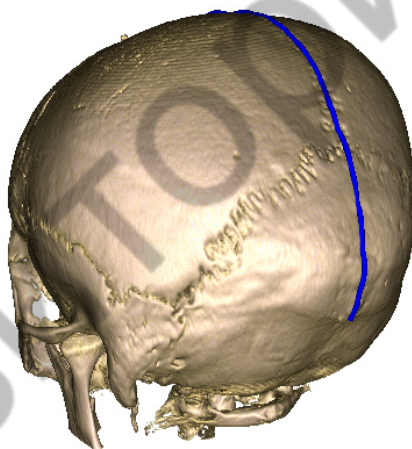


Рисунок 7 — Пример работы модуля VolumeRendering (На представленной объемной модели черепа построена линия назион-нион, проведенная по срединной линии.)

С помощью встроенного инструмента Ruler измерялся диаметр отверстия, расстояние до линии назион-нион (рисунок 8, 9). Аналогичным образом выполнялись все остальные указанные выше измерения.



Рисунок 8 — Измерение диаметра теменного отверстия

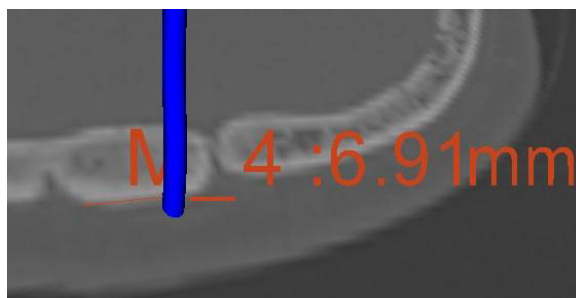


Рисунок 9 — Измерение расстояния от внутреннего края теменного отверстия до линии назион-инион

Методика цифровой краниометрии сосцевидных отверстий. Выполнение цифровых краниометрических измерений сосцевидного отверстия проводилось аналогичным образом. На первом этапе также, как представлено на рисунке 4 в сагиттальной плоскости нативных изображений, осуществляется поиск точки инион (рисунок 10, 1) и ее маркировка. Поиск всех остальных точек осуществляется в режиме 3Д реконструкции, выполненной при помощи модуля VolumeRendering. Выставляются остальные точки интереса: верхушка сосцевидного отростка (рисунок 10, 2), астрион (рисунок 10, 3) и непосредственно сосцевидное отверстие (рисунок 10, 4). При помощи встроенного модуля CurveMaker выполняется построение прямых: инион — верхушка сосцевидного отростка (рисунок 10, линия 1–2), верхушка сосцевидного отростка — астрион (рисунок 10, линия 2–3). От верхнего и нижнего краев сосцевидного отверстия опускаются перпендикуляры к линиям инион — верхушка сосцевидного отверстия (рисунок 10, линия 4–5) и верхушка сосцевидного отверстия — астрион (рисунок 10, линия 4–6). На конечном этапе высчитывается удаленность от верхушки сосцевидного отверстия до мест пересечения перпендикуляров с каждой линией (рисунок 10, линии 2–5 и 2–6).

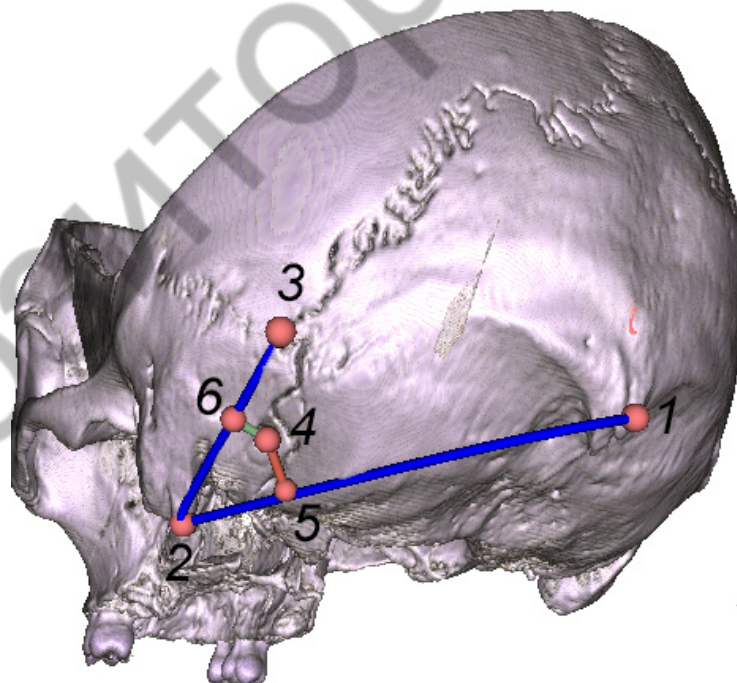


Рисунок 10 — Топография сосцевидного отверстия

Статистический анализ полученных данных выполнен с использованием программного пакета Statistica 10.0. Для проверки данных на соответствие закону нормального распределения использовался критерий Шапиро – Уилки. Данные описательной статистики указаны в виде медианы (Me) и квартилей (процентиль 25 % — q1, процентиль 75 % — q3). Для исследования корреляции между руч-

ными и цифровыми измерениями использован критерий Спирмена. Для сравнения различных методов исследования применялся описательный метод Блэнда – Алтмана.

Результаты и их обсуждение. Всего на исследуемых образцах на наружной поверхности черепов выявлено 5 теменных отверстий (нТО) и 6 сосцевидных отверстий (НСО). Все отверстия были расположены в своих типичных точках: граница средней и задней трети теменной кости для нТО и задние отделы височной кости, позади сосцевидного отростка для НСО. Как уже было сказано выше, все целевые измерения нами были проведены шестикратно: линейные размеры нТО на всех образцах измерены 30 раз, нТО-НИ — 30 раз, НИ 18 раз, Н-прнТО-НИ 30 раз, линейные размеры НСО 36 раз, И-ВСО — 30 раз, НСО-И-ВСО — 36 раз, ВСО-прНСО-И-ВСО — 36 раз, ВСО-А 30 раз, НСО-ВСО-А — 36 раз, ВСО-прНСО-ВСО-А 36 раз. Полученные результаты представлены ниже в табличном виде (таблицы 1, 2).

Таблица 1 — Сводные данные по всем измерениям нТО

Показатель	Ручное измерение			Цифровое измерение			Коэффициент корреляции, r
	ME	q1	q3	ME	q1	q3	
Площадь, мм ²	0,98	0,33	1,22	0,95	0,28	1,22	0,93
нТО-НИ, мм	4,3	3,3	6,8	4,85	3,3	6,3	0,98
НИ, мм	318,7	310,4	320,2	318,7	310,2	321,8	0,88
Н-прнТО-НИ, мм	213,9	208,4	215,1	214,7	208,2	215,5	0,95

Таблица 2 — Сводные данные по всем измерениям НСО

Показатель	Ручное измерение			Цифровое измерение			Коэффициент корреляции, r
	Me	q1	q3	Me	q1	q3	
Площадь, мм ²	4,63	1,88	6,69	4,74	1,82	6,15	0,96
И-ВСО, мм	91,5	88,3	93,6	91,5	88,9	93,4	0,98
ВСО-А мм	52,5	46,5	53,5	52,1	46,5	53,5	0,98
НСО-И-ВСО, мм	16,4	13,5	32,2	16,4	13,5	32	0,99
ВСО-прНСО-И- ВСО, мм	24,7	19,6	27,6	24,5	19,8	27,5	0,97
НСО-ВСО-А, мм	8,6	4,8	10,9	8,5	4,8	10,9	0,96
ВСО-прНСО-ВСО-А, мм	33,5	31,2	36,7	33,3	31,1	36,3	0,97

Как видно из представленных выше таблиц, коэффициент корреляции практически для каждого исследуемого как линейного размера (линейные размеры отверстий, нТО-НИ, НСО-И-ВСО, НСО-ВСО-А), так и криволинейного параметра (НИ, НИ-прнТО-НИ, И-ВСО, ВСО-А, ВСО-прНСО-И-ВСО, ВСО-прНСО-ВСО-А) был выше 0,9, кроме одного — линия назион-инион, для которой он составил 0,88. Самый низкий результат из всех для этой линии, вероятно, обусловлен ее длиной, а также, возможно, некоторой вариабельностью при обозначении точки инион. Но, хотя этот коэффициент самый низкий, он все равно говорит о тесной линейной связи между парами измерений, а если обратить внимание на медианные значения, которые составили для прямых измерений 318,7(q1 = 310,4; q3 = 320,2) мм и для цифровых 318,7 (q1 = 310,2; q3 = 321,8) мм, то можно видеть, что сами медианы не отличаются, а отличие квартилей между собой незначительно, что делает результаты всех измерений, полученных разработанным нами методом, потенциально переносимыми в клиническую практику. Для дополнительного подтверждения этого нами использован описательный метод оценки согласованности по Блэнду – Алтману (рисунок 11). Из полученного графика можно сделать ряд выводов. Во-первых, средняя разность между измерениями равна всего лишь 0,3, что говорит об отсутствии систематического расхождения. Во-вторых, стандартное отклонение разностей составило 0,98, что невелико по сравнению с самими значениями. Таким образом, измерения, полученные обоими способами, хорошо согласуются один с другим.

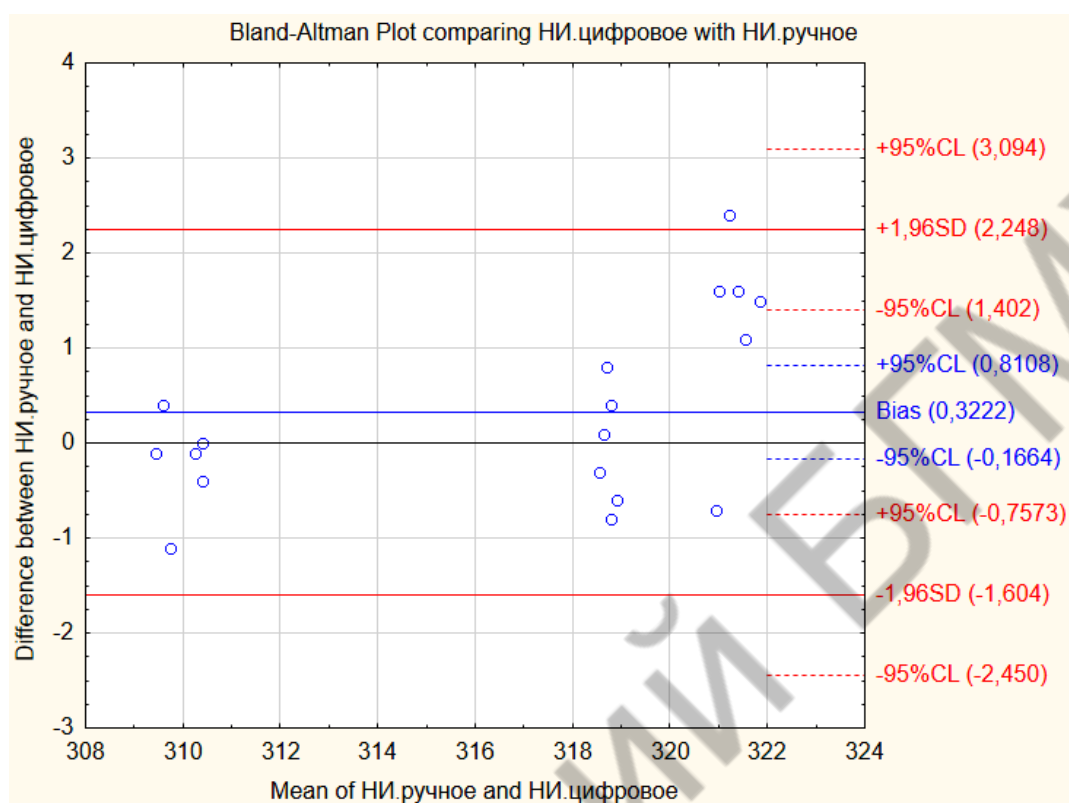


Рисунок 11 — Согласованность цифровых и прямых измерений линии НИ по Блэнду – Алтману (описание в тексте)

Заключение. Проведенная нами работа наглядно демонстрирует, что метод компьютерной томографии можно применять для проведения топографических исследований с использованием сложных криволинейных параметров. Измерения как линейные, так и криволинейные, проведенные цифровым методом на компьютерных томограммах практически не отличаются от измерений, полученных в результате прямых измерений костных образцов и, таким образом, метод цифровой краниометрии может быть применен для изучения топографии носовидных и теменных отверстий черепа человека, а результаты всех измерений по предложенным нами схемам, полученным в цифровом виде, могут быть применены в клинической практике.

Литература

1. Three-dimensional imaging and osteometry of adult human skulls using helical computed tomography / M. Nagashima [et al.] // *J. Surg. Radiol. Anat.* — 1998. — Vol. 20, № 4. — P. 291–297.
2. The extracranial to intracranial anastomotic channel through the parietal foramen: delineation with magnetic resonance imaging / S. Tsutsumi [et al.] // *J. Surg. Radiol. Anat.* — 2015. — Vol. 38, № 4. — P. 455–459.
3. Salzman, J. A. Limitations of roentgenographic cephalometrics / J. A. Salzman // *Am J. Orthod.* — 1964. — Vol. 50, № 3. — P. 169–188.
4. Craniofacial skeletal measurements based on computed tomography. Part I. Accuracy and reproducibility / A. A. Waitzman [et al.] // *Cleft. Palate Craniofac. J.* — 1992. — Vol. 29, № 2. — P. 112–119.
5. Williams, F. L. Comparison of mandibular landmarks from computed tomography and 3D digitizer data / F. L. Williams, J. T. Richtsmeier // *J. Clin. Anat.* — 2003. — Vol. 16, № 6. — P. 494–500.

Application of computed tomography in studying the topography of the parietal and mastoid foramen in outer surface of the skull adults

Tatur A. A.¹, Denisov S. D.², Levina D. I.³

¹ «Republican Scientific and Practical Center of Oncology and Medical Radiologist named after N. N. Alexandrova», Minsk, Republic of Belarus;

²Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus;

³State Institution «Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantology and Hematology», Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The computed tomography method is a good alternative for anatomical studies, however, in the modern literature there are only works that compare the linear dimensions obtained as a result of direct and digital measurements. However, in some cases it is necessary to use complex curved distances to conduct a study. In this work, we have compared direct linear and curvilinear measurements made on four skulls and compared them with similar measurements made in digital form on computed tomograms of the same anatomical specimens according to the scheme we developed.

Keywords: parietal foramen, mastoid foramen, computed tomography, linear measurements, curvilinear measurements.

Поступила 28.10.2020