

Сравнение и оценка анатомических особенностей строения головки лучевой кости человека при компьютерной томографии и компьютерном моделировании

А.О. Самохина, С.Е. Шемяков, А.П. Ратьев, К.А. Егиазарян

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Общепринятым методом лечения сложных переломов головки лучевой кости является эндопротезирование. При производстве современных конструкций протезов используются статистически усредненные морфометрические параметры без учета конституциональных антропометрических особенностей пациентов.


Цель исследования — сравнить морфометрические показатели проксимального отдела лучевой кости человека, полученные при помощи компьютерной томографии и компьютерного моделирования.


Материал и методы. В исследовании использовали лучевой метод и метод компьютерного моделирования. Материалом исследования послужила база компьютерных томограмм формата DICOM правых и левых локтевых суставов 137 человек (66 мужчин, 71 женщины), возраст которых составил от 40 до 70 лет, у них отсутствовали признаки патологии опорно-двигательного аппарата. Компьютерные томограммы анализировались с помощью программы RadiAnt DICOM Viewer. Компьютерное моделирование проводилось в программе ITK-SNAP (GNU General Public License version 3.0 (GPLv3)) с дальнейшей обработкой полученной модели при помощи разработанного программного метода.

Результаты. Сравнение морфометрических показателей головки лучевой кости, полученных при помощи разработанной программы компьютерного моделирования, и параметров морфометрии стандартной компьютерной томограммы, показало их тождественность.

Заключение. Представленный программный продукт «Автоматизированное определение морфометрических параметров кости» в дальнейшем позволит моделировать протез головки лучевой кости, опираясь на показатели компьютерных томограмм с учетом индивидуальных особенностей строения лучевой кости пациента.

Ключевые слова: лучевая кость, головка лучевой кости, шейка лучевой кости, эндопротезирование, моделирование.

 **Для цитирования:** Самохина А.О., Шемяков С.Е., Ратьев А.П., Егиазарян К.А. Сравнение и оценка анатомических особенностей строения головки лучевой кости человека при компьютерной томографии и компьютерном моделировании. *Травматология и ортопедия России*. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17599>.

 Самохина Анна Олеговна; e-mail: kafedra.anatomii@bk.ru

Рукопись получена: 16.08.2024. Рукопись одобрена: 25.11.2024. Статья опубликована онлайн: 15.01.2025.

© Самохина А.О., Шемяков С.Е., Ратьев А.П., Егиазарян К.А., 2025

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17599>

Computed Tomography vs Computer Modeling for Comparison and Evaluation of Anatomical Features of the Radial Head

Anna O. Samokhina, Sergei E. Shemyakov, Andrei P. Ratiev, Karen A. Egiazaryan

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Background. The generally accepted method of treating complex radial head fractures is arthroplasty. At the present stage, there is a variety of prosthetic designs, in production of which statistically averaged morphometric parameters are used. The anthropometric features of patients are not taken into account.

The aim of the study — to compare the morphometric parameters of the proximal radius obtained using computed tomography and computer modeling.

Methods. The study used the radiation method of examination and the computer modeling method. The study material was a database of DICOM format computer tomograms of the right and left elbow joints of 137 people (66 male, 71 female). Their age ranged from 40 to 70 years, without signs of musculoskeletal system pathology. Computer tomograms were analysed using the RadiAnt DICOM Viewer program. Computer modeling was carried out through the ITK-SNAP program (GNU General Public License version 3.0 (GPLv3)), with further processing of the obtained model using the developed software method.

Results. Comparison of the morphometric parameters of the radial head obtained using the developed computer modeling program and the morphometric parameters of a standard computed tomogram showed their identity.

Conclusion. The presented software program “Automated determination of bone morphometric parameters” will enable to model the radial head prosthesis on the basis of indicators of computer tomograms, taking into account the individual structural features of the patient’s radius.

Keywords: radius bone, radial head, radial neck, arthroplasty, modeling.

Cite as: Samokhina A.O., Shemyakov S.E., Ratiev A.P., Egiazaryan K.A. Computed Tomography vs Computer Modeling for Comparison and Evaluation of Anatomical Features of the Radial Head. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17599>.

✉ Anna O. Samokhina; e-mail: kafedra.anatomii@bk.ru

Submitted: 16.08.2024. Accepted: 25.11.2024. Published online: 15.01.2025.

© Samokhina A.O., Shemyakov S.E., Ratiev A.P., Egiazaryan K.A., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Переломы головки лучевой кости (ГЛК) составляют от 30 до 50% всех повреждений локтевого сустава у взрослых и часто сопровождаются разрывом связок и вальгусной нестабильностью в локтевом суставе [1, 2, 3]. Проведение тотального эндопротезирования локтевого сустава с использованием металлических и пироуглеродных имплантатов ГЛК стало обычным хирургическим вмешательством в современной ортопедической практике [4, 5, 6]. Целью эндопротезирования локтевого сустава является уменьшение болевого синдрома и восстановление движений в суставе [7, 8]. По данным литературы, данный метод показывает удовлетворительные клинические результаты и является приоритетным выбором в лечении многооскольчатых переломов [9, 10, 11]. Чтобы избежать послеоперационных осложнений, таких как дегенеративные изменения кости и потеря движения в локтевом суставе, размер имплантата должен имитировать естественную анатомию ГЛК [10, 12]. Для этого в практике травматологов-ортопедов используются различные конструкции протезов, различающихся по диаметру и высоте ГЛК [13, 14]. При их производстве используются статистически усредненные морфометрические параметры, полученные путем метасопоставления и суммирования результатов исследований без учета конституциональных антропометрических особенностей пациентов. Анализ существующих на сегодняшний день имплантатов показывает, что все протезы ГЛК обладают ограниченной линейкой размеров, что, свою очередь, исключает возможность их персонализированного подбора [15].

Исходя из этого, в настоящее время вопрос моделирования и изготовления индивидуальных протезов ГЛК с учетом антропометрических показателей конкретного пациента является весьма актуальным и своевременным. Кроме того, в настоящее время приоритетной задачей является проектирование и производство именно отечественных протезов ГЛК.

Цель исследования — сравнить морфометрические показатели проксимального отдела лучевой кости человека, полученные при помощи компьютерной томографии и компьютерного моделирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — ретроспективное когортное.

Материалом исследования послужила база компьютерных томограмм (КТ) формата DICOM правых и левых локтевых суставов 137 человек (66 мужчин, 71 женщины).

В исследование вошли пациенты в возрасте от 40 до 70 лет с признаками патологии опорно-двигательного аппарата.

Компьютерные томограммы анализировали с помощью программы RadiAnt DICOM Viewer, так как это универсальная и наиболее часто используемая программа, находящаяся в общем доступе. При загрузке КТ в программу, переходя в режим Multiplanar Reconstructions, программа визуализирует исследование в трех плоскостях, после этого измеряется каждый параметр вручную по одному.

При компьютерном моделировании первым этапом выполняется выделение фрагментов (фрагментация) кости на КТ-снимке и преобразование его в более удобный трехмерный формат. Для этого использовали открытое программное обеспечение ITK-SNAP (GNU General Public License version 3.0 — GPLv3). После открытия файла программа показывает изображение в трех плоскостях. Процесс фрагментации состоит из следующих этапов:

1) выделение области фрагментации — на этом этапе необходимо выбрать область снимка, в которой будет происходить сегментация;

2) настройка параметров фрагментации — на этом этапе наиболее важным является выделение «силуэтов» костей путем изменения параметров цветового фильтра, которое необходимо для точной фрагментации кости;

3) установка “bubbles” («пузырьков») — на этом этапе необходимо отметить начальные точки фрагментации, которые затем будут распространяться на весь объем кости (чем больше «пузырьков», тем точнее будет разметка);

4) запуск алгоритма сегментации — на этом этапе программа начинает автоматическую сегментацию, результат которой можно наблюдать в реальном времени. Результат сегментации — готовая модель. Далее готовую модель нужно экспортировать в формат 3D-моделирования и графики vtk (Visualization Toolkit) (рис. 1).

Дальнейшая обработка компьютерной модели лучевой кости происходила при помощи разработанного нами программного метода с условным названием «Автоматизированное определение морфометрических параметров кости».

После запуска программы открывается окно с изображением модели кости (рис. 2). Модель кости можно вращать, перемещая мышку с зажатой левой кнопкой, с зажатой клавишей shift можно перемещать модель параллельно экрану, колесико используется для масштабирования.

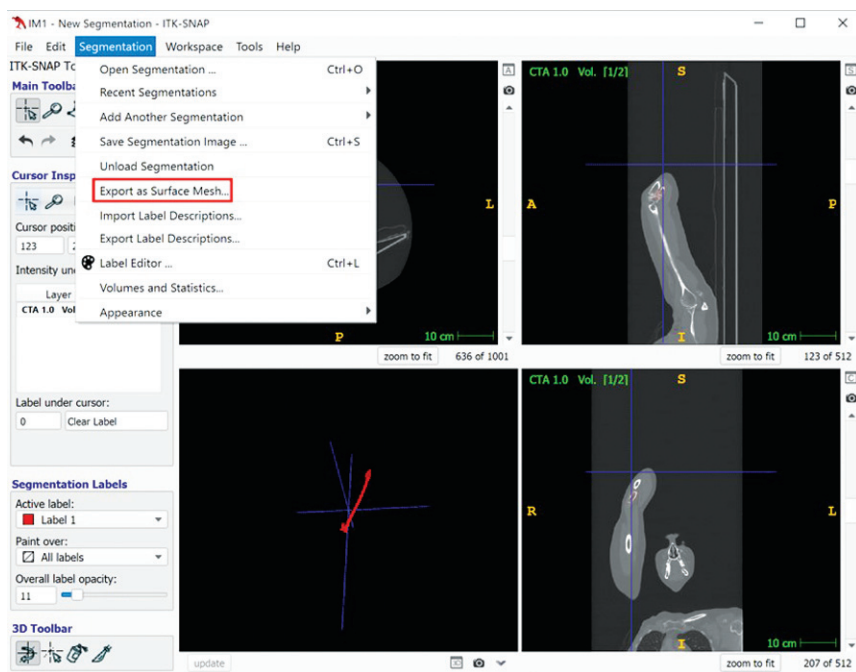


Рис. 1. Экспорт готовой модели головки лучевой кости в формат vtk
Figure 1. Export of radial head 3D model into vtk format



Рис. 2. Внешний вид окна программы «Автоматизированное определение морфометрических параметров кости»

Figure 2. The appearance of the program window “Automated determination of bone morphometric parameters”

На компьютерной модели автоматически появляются реперные точки, которые при необходимости могут быть скорректированы вручную. После выбора всех необходимых точек морфометрические параметры будут выведены в консоль, а пользователю будет дана возможность сохранить параметры в файл.

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов исследования проводилась при помощи пакета прикладных программ Microsoft Excel и Statistica 13 for

Windows. Для проверки на нормальность распределения использовался критерий Лиллиефорса. Учитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение ($M \pm \sigma$), а также минимум и максимум во всех группах. О достоверности различий судили по t-критерию для независимых переменных. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для оценки статистически значимого отличия между средними значениями между группами мужчин и женщин использовали доверительный интервал (ДИ) разницы средних значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для получения значений диаметров ГЛК использовалось расстояние между наиболее удаленными точками головки во фронтальной и сагиттальной плоскостях, ориентированных относительно бугристости лучевой кости. При антропометрии с использованием классической компьютерной томографии у мужчин выбранные параметры составили $26,81 \pm 1,58$ мм во фронтальной плоскости, $26,4 \pm 1,30$ мм в сагиттальной плоскости. Использование разработанной программы компьютерного моделирования показало идентичность изучаемых показателей модели головки лучевой кости, которые составили $26,78 \pm 1,61$ и $26,44 \pm 1,3$ мм соответственно. У женщин средние показатели диаметра ГЛК во фронтальной плоскости, измеренные на томограммах, равнялись $21,62 \pm 1,46$ мм, а при компьютерном моделировании — $21,68 \pm 1,43$ мм. Соответствующий показатель в сагиттальной плоскости составлял $21,92 \pm 1,38$ и $21,96 \pm 1,4$ мм соответственно.

Высоту ГЛК определяли как расстояние между наименьшим и наибольшим основанием ГЛК в четырех взаимно перпендикулярных точках во фронтальной (Ф1; Ф2) и сагиттальной (С1; С2) плоскостях, ориентированных относительно бугристости лучевой кости. Обращают на себя внимание различия высоты головки в изученных плоскостях, что свидетельствует о том, что ГЛК не является идеальным цилиндром, а имеет форму

усеченного конуса с достаточно вариабельными и зачастую эллипсоидными основаниями. Это предопределяет необходимость учета данных параметров при моделировании. Результаты, полученные при помощи компьютерной томографии, также практически совпадают с результатами, полученными при компьютерном моделировании.

Изученные морфометрические параметры и их значения представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Морфометрические параметры лучевой кости у мужчин, мм

| Параметр | Компьютерная томография | | | Компьютерное моделирование | | | p | |
|--|-------------------------|------------|-------|----------------------------|------------|-------|------|------|
| | M±σ | max | min | M±σ | max | min | | |
| Диаметр головки лучевой кости во фронтальной плоскости | 26,81±1,58 | 30,00 | 22,80 | 26,78±1,61 | 30,00 | 22,80 | 0,94 | |
| Диаметр головки лучевой кости в сагиттальной плоскости | 26,4±1,30 | 28,60 | 24,10 | 26,44±1,30 | 28,70 | 24,20 | 0,90 | |
| Высота головки лучевой кости во фронтальной плоскости | Ф1 | 11,75±2,04 | 16,20 | 6,71 | 11,79±2,05 | 16,50 | 6,71 | 0,94 |
| | Ф2 | 10,04±1,88 | 15,30 | 7,77 | 10,05±1,87 | 15,10 | 7,77 | 0,98 |
| Высота головки лучевой кости в сагиттальной плоскости | С1 | 9,56±1,33 | 12,00 | 7,17 | 9,58±1,36 | 12,00 | 7,27 | 0,96 |
| | С2 | 10,23±1,58 | 14,10 | 7,78 | 10,30±1,61 | 14,30 | 7,78 | 0,86 |
| Глубина суставной ямки | 3,52±0,82 | 5,63 | 2,21 | 3,54±0,80 | 5,63 | 2,31 | 0,93 | |
| Длина бугристости лучевой кости | 25,16±2,49 | 30,80 | 21,20 | 25,16±2,49 | 30,90 | 21,30 | 1,00 | |
| Ширина бугристости лучевой кости | 14,47±2,91 | 21,20 | 9,40 | 14,45±2,92 | 21,10 | 9,30 | 0,98 | |

Значения p указывают на отсутствие статистически значимых отличий между группами «компьютерная томография» и «компьютерное моделирование» (p>0,05).

Таблица 2

Морфометрические параметры лучевой кости у женщин, мм

| Параметр | Компьютерная томография | | | Компьютерное моделирование | | | p | |
|--|-------------------------|-----------|-------|----------------------------|-----------|-------|------|------|
| | M±σ | max | min | M±σ | max | min | | |
| Диаметр головки лучевой кости во фронтальной плоскости | 21,62±1,46 | 25,10 | 18,40 | 21,68±1,43 | 25,2 | 18,30 | 0,99 | |
| Диаметр головки лучевой кости в сагиттальной плоскости | 21,92±1,38 | 25,10 | 18,60 | 21,96±1,40 | 25,2 | 18,40 | 0,95 | |
| Высота головки лучевой кости во фронтальной плоскости | Ф1 | 9,46±1,71 | 15,00 | 6,37 | 9,59±1,63 | 15,00 | 6,38 | 0,99 |
| | Ф2 | 8,04±1,16 | 9,65 | 5,71 | 8,05±1,11 | 9,75 | 5,81 | 0,99 |
| Высота головки лучевой кости в сагиттальной плоскости | С1 | 7,85±1,06 | 11,00 | 5,93 | 8,03±1,18 | 11,00 | 5,95 | 0,87 |
| | С2 | 8,41±1,23 | 11,00 | 5,77 | 8,26±1,27 | 11,00 | 5,67 | 0,82 |
| Глубина суставной ямки | 2,84±0,45 | 4,06 | 2,03 | 2,90±0,45 | 4,06 | 2,13 | 0,89 | |
| Длина бугристости лучевой кости | 23,26±3,86 | 31,30 | 15,4 | 23,03±3,72 | 31,20 | 15,30 | 0,99 | |
| Ширина бугристости лучевой кости | 11,97±1,93 | 15,70 | 8,3 | 12,13±1,89 | 15,80 | 8,20 | 0,64 | |

Значения p указывают на отсутствие статистически значимых отличий между группами «компьютерная томография» и «компьютерное моделирование» (p>0,05).

Таблица 3

Доверительный интервал разницы средних значений между мужчинами и женщинами

| Параметр | Доверительный интервал разницы средних значений | |
|--|---|----------------------------|
| | Компьютерная томография | Компьютерное моделирование |
| Диаметр головки лучевой кости во фронтальной плоскости | [4,41; 5,87] | [0,57; 3,69] |
| Диаметр головки лучевой кости в сагиттальной плоскости | [3,77; 5,11] | [1,16; 3,48] |
| Высота головки лучевой кости во фронтальной плоскости | Ф1 | [1,33; 3,13] |
| | Ф2 | [1,32; 2,78] |
| Высота головки лучевой кости в сагиттальной плоскости | С1 | [0,95; 2,19] |
| | С2 | [1,26; 2,68] |
| Глубина суставной ямки | [0,36; 0,98] | [0,92; 2,18] |
| Длина бугристости лучевой кости | [0,56; 3,68] | [1,42; 2,68] |
| Ширина бугристости лучевой кости | [1,70; 3,02] | [0,01; 1,27] |

С вероятностью 95% истинная разница средних по всем параметрам между группами мужчин и женщин находится в интервале, не содержащем 0, что говорит о статистически значимом отличии между средними значениями.

Таким образом, морфометрия ГЛК на КТ продемонстрировала статистически значимые гендерные отличия изученных показателей. Морфометрические параметры у мужчин оказались больше в 1,1–1,3 раза, чем у женщин. Числовые значения, измеренные на КТ пациентов при помощи программы RadiAnt DICOM Viewer, оказались практически идентичными с аналогичными показателями компьютерной модели, созданной при помощи нового программного продукта.

ОБСУЖДЕНИЕ

В. Pasli с соавторами изучили размеры головки, шейки и бугристости 80 лучевых костей. Были проанализированы параметры, важные для конструкции протеза, и изучены их взаимозависимости. Авторы обнаружили, что форма головки лучевой кости в 36% случаев овальная и в 64% — круглая. Средняя высота головки лучевой кости, по данным авторов, с передней, задней, медиальной и латеральной сторон составила $8,52 \pm 1,32$; $9,02 \pm 1,23$; $9,20 \pm 1,59$ и $8,05 \pm 1,13$ мм соответственно. Средняя глубина суставной ямки составила $1,85 \pm 0,37$ мм [16]. Эти данные отличаются от полученных нами результатов. В нашем исследовании данные параметры составили у мужчин $11,75 \pm 2,04$; $10,04 \pm 1,88$; $9,56 \pm 1,33$; $10,23 \pm 1,58$ мм, а у женщин — $9,46 \pm 1,71$; $8,04 \pm 1,16$; $7,85 \pm 1,06$; $8,41 \pm 1,23$ мм соответственно. Вероятно, разница в результатах связана с тем, что исследование проводилось без учета гендерных отличий. Авторы не выявили высокой степени корреляции между изученными параметрами,

влияющими на конструкцию протеза. По их мнению, частота осложнений после протезирования ГЛК зависит от развивающегося с возрастом остеопороза, причиной которого зачастую является несоответствие размеров протеза и истинной ГЛК [16].

А. Malone с соавторами изучили компьютерные томограммы 50 верхних конечностей трупов 34 мужчин и 16 женщин и сравнили их морфометрические параметры с доступными протезами ГЛК. Общая конструкция трех различных типов протезов была количественно сопоставлена с ГЛК. Авторы отметили, что есть несоответствие между показателями ГЛК на КТ-изображении и параметрами существующих коммерчески доступных имплантатов — в среднем на $(0,4 \pm 0,2)$ – $(0,5 \pm 0,1)$ мм. Был сделан вывод, что несоответствие поверхностей ГЛК и имплантата может быть уменьшено с помощью методов обратного проектирования для определения требуемых параметров для индивидуального протезирования [17]. В нашем исследовании мы сравнивали показатели, полученные при морфометрии КТ с числовыми значениями ГЛК, смоделированной при помощи разработанного программного метода. Статистический анализ результатов подтвердил совпадение сравниваемых показателей.

У метода компьютерного моделирования есть несколько недостатков. Во-первых, процесс создания и экспорта модели лучевой кости должен контролировать врач, чтобы при фрагментации и сегментации была выделена только кость без окружающих тканей. Во-вторых, необходимо время на формирование и коррекцию модели (приблизительно около 1 ч.). В-третьих, данный метод требует определенных навыков использования оборудования и программного обеспечения.

Преимущество данного метода заключается в том, что, помимо списка остеометрических параметров и их результатов, итогом исследования является создание компьютерной модели лучевой кости, что невозможно при использовании стандартного программного обеспечения компьютерного томографа.

В перспективе разработанный метод может обеспечить подбор протеза из существующих готовых имплантатов для пациентов с патологией локтевого сустава на основе компьютерной морфометрии и моделирования контралатеральной лучевой кости. Компьютерная модель проксимального отдела лучевой кости также может стать основой для персонализированного изготовления протеза головки лучевой кости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Самохина А.О. — концепция и дизайн исследования, сбор и статистический анализ данных, анализ литературы, написание текста рукописи.

Шемяков С.Е. — сбор данных, редактирование текста рукописи.

Ратиев А.П. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

Егиазарян К.А. — научное руководство, редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Costa L.A.V., Brabo V.C.P., Marangoni A.L., Taniguchi L.F.P. Severe osteoarthritis of the elbow after a non-displaced radial head fracture: case report. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2020;55(3):383-385. doi: 10.1055/s-0039-3402468.
- Kaur M.N., MacDermid J.C., Grewal R.R., Stratford P.W., Woodhouse L.J. Functional outcomes post-radial head arthroplasty: a systematic review of literature. *Shoulder Elbow*. 2014;6(2):108-118. doi: 10.1177/1758573214524934.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение морфометрических показателей головки лучевой кости, полученных при помощи разработанной программы компьютерного моделирования, и параметров морфометрии стандартной компьютерной томограммы, показало их тождественность, что подтвердилось при статистической обработке сравниваемых показателей. Преимущество метода компьютерного моделирования заключается в создании 3D-модели кости за короткое время с минимальными погрешностями. Кроме того, разработка данного компьютерного метода в дальнейшем может позволить моделировать протез головки лучевой кости по показателям компьютерной томографии с учетом индивидуальных особенностей строения лучевой кости конкретного пациента.

DISCLAIMERS

Author contribution

Samokhina A.O. — study concept and design, data acquisition, statistical data processing, literature search and review, drafting the manuscript.

Shemyakov S.E. — data acquisition, editing the manuscript.

Ratiev A.P. — study concept and design, editing the manuscript.

Egiazaryan K.A. — scientific guidance, editing the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

- Vannabouathong C., Akhter S., Athwal G.S., Moro J., Bhandari M. Interventions for displaced radial head fractures: network meta-analysis of randomized trials. *J Shoulder Elbow Surg*. 2019;28(3):578-586. doi: 10.1016/j.jse.2018.10.019.
- Haglin J.M., Kugelman D.N., Christiano A., Konda S.R., Paksima N., Egol K.A. Open surgical elbow contracture release after trauma: results and recommendations. *J Shoulder Elbow Surg*. 2018;27(3):418-426. doi: 10.1016/j.jse.2017.10.023.
- Qian Y., Yu S., Shi Y., Huang H., Fan C. Risk Factors for the Occurrence and Progression of Posttraumatic Elbow Stiffness: A Case-Control Study of 688 Cases. *Front Med (Lausanne)*. 2020;7:604056. doi: 10.3389/fmed.2020.604056.

6. Петленко И.С., Федюнина С.Ю., Алиев А.Г., Билык С.С., Захматов Н.С., Шубняков И.И. Эффективность применения 3D-технологий при планировании и выполнении реконструктивно-пластических операций у пациентов с контрактурами локтевого сустава, обусловленными оссификацией. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(2):120-130. doi: 10.17816/2311-2905-17531. Petlenko I.S., Fedyunina S.Y., Aliyev A.G., Bilyk S.S., Zakhmatov N.S., Shubnyakov I.I. Effectiveness of 3D visualization technologies in planning and performing reconstructive plastic surgeries in patients with elbow contractures caused by ossification. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(2):120-130. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-17531.
7. Кесян Г.А., Арсеньев И.Г., Уразгильдеев Р.З., Карапетян Г.С., Левин А.Н., Кесян О.Г. и др. Современные тенденции и перспективы тотальной артропластики локтевого сустава (обзор литературы). *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2021;28(3):75-92. doi: 10.17816/vto76056. Kesyanyan G.A., Arsenyev I.G., Urazgil'deev R.Z., Karapetyan G.S., Levin A.N., Kesyanyan O.G. et al. Current trends and prospects for total elbow arthroplasty (literature review). *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(3):75-92. (In Russian). doi: 10.17816/vto76056.
8. Алиев А.Г., Коваленко А.Н., Амбросенков А.В., Миронов А.Р., Османов А.М., Устазов К.А. и др. Показания и результаты первичного и ревизионного эндопротезирования локтевого сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2019;25(4):600-609. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-600-609. Aliyev A.G., Kovalenko A.N., Ambrosenkov A.V., Mironov A.R., Osmanov A.M., Ustazov K.A. et al. Indications and results of primary and revision total elbow arthroplasty (literature review). *Genij Ortopedii*. 2019;25(4):600-609. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-600-609.
9. Laumonerie P., Tibbo M.E., Reina N., Pham T.T., Bonneville N., Mansat P. Radial head arthroplasty: a historical perspective. *Int Orthop*. 2019;43(7):1643-1651. doi: 10.1007/s00264-018-4082-9.
10. Kodde I.F., Viveen J., The B., van Riet R.P., Eygendaal D. Management of the failed radial head arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2020;1;5(7):398-407. doi: 10.1302/2058-5241.5.190055.
11. Алиев А.Г., Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Коваленко А.Н., Амбросенков А.В., Антипов А.П. Среднесрочные результаты эндопротезирования локтевого сустава у пациентов с ревматоидным артритом. *Научно-практическая ревматология*. 2018;56(5):635-640. doi: 10.14412/1995-4484-2018-635-640. Aliyev A.G., Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Kovalenko A.N., Ambrosenkov A.V., Antipov A.P. Medium-term results of total elbow arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *Rheumatology Science and Practice*. 2018;56(5):635-640. (In Russian). doi: 10.14412/1995-4484-2018-635-640.
12. Егоров К.С., Неверов В.А., Зуев В.Ю., Земскова М.А., Черняев С.Н. Выбор тактики хирургического лечения больных с переломами головки лучевой кости. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2023;182(3):24-32. doi: 10.24884/0042-4625-2023-182-3-24-32. Egorov K.S., Neverov V.A., Zuev V.Yu., Zemskova M.A., Chernyaev S.N. The choice of tactics of surgical treatment of patients with fractures of the head of the radius. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2023;182(3):24-32. (In Russian). doi: 10.24884/0042-4625-2023-182-3-24-32.
13. Mahaisavariya B., Saekee B., Sithiseripratip K., Oris P., Tongdee T., Bohez E.L. et al. Morphology of the radial head: a reverse engineering based evaluation using three-dimensional anatomical data of radial bone. *Proc Inst Mech Eng H*. 2004;218(1):79-84. doi: 10.1243/095441104322807785.
14. Popovic N., Djekic J., Lemaire R., Gillet P. A comparative study between proximal radial morphology and the floating radial head prosthesis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2005;14(4):433-440. doi: 10.1016/j.jse.2004.10.012.
15. Acevedo D.C., Paxton E.S., Kukelyansky I., Abboud J., Ramsey A.M. Radial head arthroplasty: state of the art. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(10):633-642. doi: 10.5435/JAAOS-22-10-633.
16. Pasli B., Yücedag Gündođdu H., Ülker M., Erçakmak Güneş B. Anatomical features of the proximal end of the radius and its implications for implant design. *Surg Radiol Anat*. 2024;46(6):787-794. doi: 10.1007/s00276-024-03372-3.
17. Lalone E.A., Deluce S.R., Shannon H., King G.J.W., Johnson J.A. Design of anatomical population-based and patient-specific radial head implants. *J Hand Surg Am*. 2017;42(11):924.e1-924.e11. doi: 10.1016/j.jhssa.2017.05.028.

Сведения об авторах

✉ Самохина Анна Олеговна

Адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1

<https://orcid.org/0000-0002-2000-7360>

e-mail: kafedra.anatomii@bk.ru

Шемяков Сергей Евгеньевич — д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0001-6272-3026>

e-mail: shemy-akov@mail.ru

Ратьев Андрей Петрович — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-6559-4263>

e-mail: ap@ratev.ru

Егиазарян Карен Альбертович — д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>

e-mail: egkar@mail.ru

Authors' information

✉ Anna O. Samokhina

Address: 1, Ostrovityanova st., Moscow, 117997, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2000-7360>

e-mail: kafedra.anatomii@bk.ru

Sergei E. Shemyakov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-6272-3026>

e-mail: shemy-akov@mail.ru

Andrei P. Ratiev — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6559-4263>

e-mail: ap@ratev.ru

Karen A. Egiazaryan — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>

e-mail: egkar@mail.ru