На правах рукописи

Самохина Анна Олеговна

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ЛУЧЕВОЙ КОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ЕЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

3.3.1 Анатомия и антропология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва — 2026

Работа выполнена на кафедре анатомии человека Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель: доктор медицинских наук, профессор
Шемяков Сергей Евгеньевич

Официальные оппоненты:

Гайворонский Иван Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной анатомии Федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Клочкова Светлана Валерьевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии человека Медицинского института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Ведущая организация:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Курск.

Защита диссертации состоится «16» декабря 2026 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета ПДС 0300.018 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8.).

С текстом диссертации можно ознакомиться в научной библиотеке при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.).

Автореферат разослан «____» _____2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
профессор, доктор биологических наук Т.А. Цехмистренко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Травматизм наряду с другими заболеваниями является одной из основных медико-социальных проблем в большинстве стран мира. По данным Всемирной организации здравоохранения высокий уровень заболеваемости в результате травм крупных суставов приходятся на молодой трудоспособный возраст. Локтевой сустав является одним из самых подвижных и функционально нагруженных суставов человеческого организма. Примерно 5% всех повреждений скелета составляют переломы костей этого сустава, из которых около 30% у взрослых приходятся на переломы головки лучевой кости [Clavert P. et al., 2024; Court-Brown C. et al., 2015; Tarassoli P. et al., 2017]. Более 80% травм головки и шейки лучевой кости регистрируется у пациентов в возрасте от 20 до 60 лет [Абдулхабиров М.А. и соавт., 2003; Rockwood C.A. et al., 2010]. Послеоперационные осложнения, такие как контрактуры, возникают у 15-40% пациентов, примерно 20% случаев приводят к инвалидности [Бойко И.В. и соавт., 2009]. Поскольку традиционные методы лечения часто приводят к неудовлетворительным результатам, проблема лечения переломов и послеоперационных осложнений локтевого сустава достаточно актуальна [Ратьев А.П., 2015; Court-Brown C.M. et al., 2015; Tarassoli P., 2017]. Следует подчеркнуть, что в последние годы основным способом лечения, существенно улучшающим качество жизни людей с заболеваниями суставов и посттравматической патологией, является их эндопротезирование [Asık M.O. et al., 2022; Velasquez Garcia A.R. et al., 2026].

Морфометрические характеристики костей необходимы для комплексного понимания анатомии человека и его опорно-двигательного аппарата [Яшина И.Н., 2019].

Головка лучевой кости (ГЛК) играет ключевую роль в биомеханике локтевого сустава, поскольку соединение между ней и мыщелком плечевой кости способствует стабилизации осевых и вальгусных нагрузок на предплечье и локоть, предотвращая вывихи и чрезмерное вальгусное отклонение [Eathiraju S. et al., 2007; Fritz R.C. et al., 1997; Heo Y.M. et al., 2012].

В настоящее время в медицине все больше внимания уделяется индивидуальному подходу при изготовлении протезов головки лучевой кости, так как точный подбор размера импланта — ключ к дальнейшему максимально

физиологичному функционированию сустава [Heifner J.J. et al., 2024; Nolte P.C. et al., 2021; Safali S. et al., 2023; Vannabouathong C. et al., 2020; Viveen J. et al., 2019]. В научной литературе, как зарубежной, так и русскоязычной, есть множество исследований, посвященных морфометрическим характеристикам лучевой кости человека. Однако в данных работах отсутствует единый выбор оптимальных параметров ГЛК и стандартизация их измерений, что является причиной разных интерпретаций полученных результатов [King J.W. et al., 2001; Popovic N. et al., 2005]. Результаты исследований часто неоднозначны или даже противоречат друг другу. Это прежде всего связано со спецификой изучаемого объекта (кости, суставы, компьютерные томограммы) и разными методами исследования лучевой кости, в том числе остеометрией костных препаратов, аутопсией, морфометрией с помощью лучевых методик с последующим их сопоставлением. Исследования, где сравнивают результаты виртопсии и аутопсии одних и тех же локтевых суставов практически отсутствуют. Так же остается актуальной задачей разработка программы для автоматического моделирования лучевой кости (ЛК) с определением ее морфометрических характеристик, что практически не встречается в предлагаемом в настоящее время программном обеспечении [Velasquez Garcia A.R. et al., 2026; Kim H.M. et al., 2016].

Таким образом, разные подходы и методы изучения морфометрии лучевой кости, противоречия результатов исследований, обуславливают необходимость обобщения существующих данных и определение единых реперных точек, отражающих индивидуальные особенности строения лучевой кости человека, что имеет как теоретическую, так и практическую ценность.

Цель исследования - установить половые, возрастные, компьютерно-томографические особенности морфометрических параметров проксимального отдела лучевой кости человека и провести ее компьютерное моделирование.

Задачи исследования:

1) провести сравнительный анализ морфометрических показателей мацерированных лучевых костей с их компьютерно-томографическим изображением;

2) сравнить морфометрические параметры проксимального отдела лучевой кости человека, полученные при проведении виртопсии и аутопсии локтевых суставов;
3) определить возрастные и половые особенности проксимального отдела лучевой кости при компьютерно-томографическом исследовании пациентов;
4) провести статистический анализ результатов прижизненной компьютерной томографии проксимального отдела лучевой кости человека в сравнении с результатами анатомических исследований;
5) разработать компьютерную программу автоматического анализа изображений томограмм лучевой кости с возможностью ее моделирования.

Научная новизна полученных результатов. Впервые дана комплексная сравнительная характеристика антропометрических показателей изолированных костных препаратов лучевой кости и их компьютерно-томографического (КТ) изображения. Проведена виртопсия верхних конечностей, с последующим проведением аутопсии и морфометрическим исследованием. Проведен математический анализ результатов прижизненной компьютерной томографии проксимального отдела лучевой кости человека в сравнении с результатами анатомических исследований. Получены новые данные об индивидуальной вариабельности рентгенанатомических показателей проксимального отдела лучевой кости с учетом возраста и пола пациентов. Разработана оригинальная компьютерная программа автоматического анализа изображений томограмм лучевой кости с возможностью ее моделирования.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Данные, полученные при помощи статистической обработки морфометрических показателей ЛК, продемонстрировали разницу в зависимости от выбранных методов исследования. Полученные в ходе исследования данные и выводы следует учитывать при описании результатов КТ локтевого сустава.

Теоретические результаты работы целесообразно использовать в медицинских вузах в процессе преподавания таких дисциплин, как анатомия человека, антропология, травматология и ортопедия, лечебная физкультура и реабилитология. Полученные данные могут быть включены в лекционные и практические материалы

по остеологии и артрологии: новые морфометрические диапазоны и закономерности изменчивости позволяют точнее описывать строение лучевой кости. Результаты исследования применимы при разборе доступов к локтевому суставу и планировании вмешательств на проксимальном отделе предплечья.

Разработанная программа может быть использована при выборе программ лечения и реабилитации пациентов с травмами локтевого сустава, вообще, и лучевой кости, в частности. Результаты работы могут служить основой для разработки индивидуального протеза или подбора размера промышленно производимых протезов головки лучевой кости.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс для студентов, обучающихся на кафедре анатомии человека ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет). В практическом здравоохранении результаты исследования используются в отделении травматологии ГБУЗ ГКБ № 1 имени Н.И. Пирогова ДЗМ и отделении травматологии и ортопедии ОСП РГНКЦ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет), что подтверждено актами внедрения.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Морфометрические параметры лучевой кости человека значимо отличаются в зависимости от пола и метода исследования (остеометрия, виртопсия, аутопсия, компьютерно-томографическое исследование).
2. Большинство морфометрических показателей проксимального отдела лучевой кости человека не зависят от ее длиннотных размеров, что подтверждается слабой силой связи при корреляционном анализе.
3. Разработанная программа автоматического анализа компьютерных томограмм, позволяет провести 3D моделирование лучевой кости и получить числовые значения заданных морфометрических параметров.

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов базируются на актуальности поставленных целей и задач в контексте современной науки, полноте и репрезентативности выборки исследуемого материала (228 наблюдений), точности и воспроизводимости результатов и подробной статистической обработке данных.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены для обсуждения на научных конференциях: Всероссийской научной конференции с международным участием «Одонтологические морфологические чтения» (Воронеж, 2022); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Морфологические школы сегодня» (Москва, 2022); II Международной научной конференции «Клинико-морфологические аспекты фундаментальных и прикладных медицинских исследований» (Воронеж, 2022); VI Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития судебной медицины и морфологии в условиях становления ЕАЭС – 2022» (Кыргызская Республика, 2022); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы морфологии на современном этапе» (Минск, 2023); Международной научно-практической конференции «Достижения современной морфологии» (Минск, 2024); Всероссийской научной конференции «Анатомия в XXI веке - традиция и современность» (Санкт-Петербург, 2024); Всероссийской научной конференции «Достижения отечественной морфологии» (Томск, 2025); IX Всероссийском съезде анатомов, гистологов и эмбриологов России с международным участием «Фундаментальная и прикладная морфология в XXI веке» (Оренбург, 2025).

Личное участие автора. Диссертация является результатом самостоятельной работы автора. Лично автором проведен обзор отечественной и иностранной литературы, сформулированы цель и задачи исследования, выполнен отбор материала, проведено морфометрическое исследование, статистическая обработка данных, анализ и оценка результатов, осуществлена формулировка выводов.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах ВАК (2 из них – индексируемые в Scopus).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 136 страницах компьютерного текста, включает 29 таблиц и 24 рисунка. Состоит из следующих разделов: введение, обзор литературы, материалы и методы исследования, результаты собственных исследований, обсуждение результатов исследования, выводы, практические рекомендации, список сокращений, список литературы

(состоящий из 209 источников, в том числе 26 отечественных и 183 зарубежных публикаций), а также 2 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования. Материалом исследования послужили 82 мацерированные лучевые кости людей (38 мужчин, 44 женщин), 10 трупных нефиксированных изолированных верхних конечностей людей (5 мужчин, 5 женщин), компьютерные томограммы локтевых суставов 136 человек (66 мужчин, 70 женщин).

Возрастные группы сформированы согласно схеме возрастной периодизации, принятой на Международном симпозиуме по возрастной периодизации (Москва, 1965): первый период зрелого возраста (мужчины 21–35 лет, женщины 20–35 лет); второй период зрелого возраста (мужчины 36–60 лет, женщины 36–55 лет); пожилой возраст (мужчины 61–74 года, женщины 56–74 года); старческий возраст (мужчины и женщины 75-90 лет).

Распределение материала исследования по гендерному признаку представлено в Таблице 1.

Таблица 1

Распределение материала по полу в генеральной выборке исследования

Материалы исследования	Генеральная выборка	Мужчины	Женщины
Мацерированные лучевые кости	82	38	44
Нефиксированные верхние конечности	10	5	5
КТ локтевых суставов	136	66	70
Итого	228	109	119

В работе использовались обезличенные компьютерные томограммы верхних конечностей людей, локтевые суставы трупов и лучевые кости без патологии опорно-двигательного аппарата и признаков травматического поражения. Проведение исследования одобрено на заседании локального этического комитета РНИМУ им. Н.И. Пирогова (выписка из протокола заседания №212 от 22.11.2021). Мацерированные лучевые кости людей были взяты из хранилищ музеев кафедры анатомии человека РНИМУ им. Н.И. Пирогова и кафедры нормальной анатомии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Нефиксированный биоматериал правых и левых верхних конечностей был получен из Учебного центра инновационных медицинских технологий РНИМУ им. Н.И. Пирогова. Компьютерные томограммы верхних конечностей людей предоставлены из архива

ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова. КТ были отобраны из множества исследований, исключающих травмы и патологии опорно-двигательного аппарата.

Анатомическое исследование. Остеометрическое исследование изолированных лучевых костей человека проводилось при помощи цифрового штангенциркуля «ADA instruments mechanic 150» (Китай), сантиметровой ленты и металлической линейки по методикам R. Martin в модификациях В.П.Алексеева [Алексеев В.П., 1966], Van Vark [Van Vark G.N., 1975], М.А. Григорьевой [Григорьева М.А., 2004]. При аутопсии локтевых суставов производилось извлечение лучевой кости целиком с сохранением суставного хряща на проксимальном и дистальном эпифизах (рис. 1), затем на выделенной лучевой кости выполнялось остеометрическое исследование.

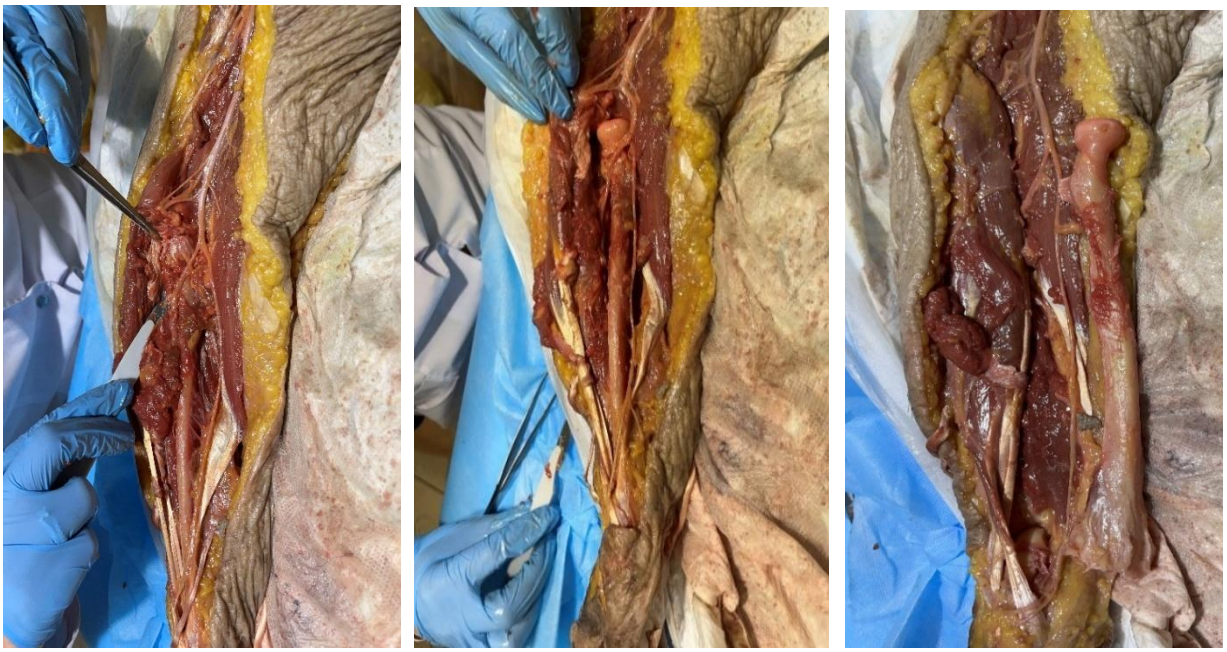


Рис.1. Аутопсия локтевых суставов

Рентгенологическое исследование. Компьютерно-томографическое исследование мацерированных лучевых костей проводилось на спиральном компьютерном томографе Siemens Somatom (Германия) при толщине среза 1 мм. Исследование проводили на клинической базе Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Виртопсию локтевых суставов проводили с помощью компьютерного томографа Toshiba (Япония) при толщине среза 1 мм на клинической базе РНИМУ им. Н.И. Пирогова. Обработка КТ проводилась при помощи программы RadiAnt DICOM Viewer в режиме Multiplanar Recontructions, в формате изображений DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) - отраслевой

стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов.

Морфометрическое исследование. Изучали следующие морфометрические параметры: наибольшая длина ЛК, физиологическая длина ЛК, параллельная длина ЛК, расстояние между ГЛК и бугристостью ЛК, ширина диафиза ЛК, ширина середины диафиза ЛК, ширина дистального эпифиза ЛК, сагиттальный диаметр диафиза ЛК, ширина шейки ЛК, сагиттальный диаметр шейки ЛК, наименьшая длина окружности диафиза ЛК, длина окружности середины диафиза ЛК, длина окружности ГЛК, длина окружности шейки ЛК. В дополнение к параметрам, предложенным в методике Алексеева В.П. [Алексеев В.П., 1966], был изучен ряд показателей, которые по мнению автора, более точно характеризуют проксимальный конец ЛК: длина бугристости ЛК, ширина бугристости ЛК, сагиттальный диаметр проксимального отдела в области бугристости ЛК, глубина суставной ямки ГЛК, диаметры ГЛК во фронтальной и сагиттальной плоскостях, высота ГЛК в четырех взаимно перпендикулярных точках во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

Компьютерное программирование компьютерно-томографического изображения лучевой кости и ее моделирование. Подготовка к компьютерному моделированию заключалась в преобразовании КТ в трехмерный формат и создании модели кости с помощью программы ITK-SNAP (GNU General Public License version 3.0) (open-source - открытое программное обеспечение). Преобразование КТ-изображения проходило в несколько этапов: 1) выделение области фрагментации, необходимо выбрать изучаемую часть (область) тела; 2) настройка параметров фрагментации изменением цветового фильтра; 3) необходимо отметить начальные точки фрагментации, которые постепенно «расползаются» на весь объем кости; 4) запуск алгоритма сегментации ЛК, выделение только кости, без соседних структур предплечья (локтевой кости, связок, мышц и т.д.).

Дальнейшая обработка компьютерной модели осуществлялась при помощи разработанного нами программного метода - «автоматизированное определение морфометрических параметров кости». Программа была разработана с участием сотрудников кафедры БМТ1 (Биомедицинские технические системы) Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Финальным этапом компьютерного

моделирования было проставление и коррекция (при необходимости) реперных точек (рис. 2). После чего с помощью программы производили автоматизированный расчет необходимых морфометрических параметров, которые сохраняли в файл. В результате обработки данных получали список заданных параметров и их цифровые показатели.

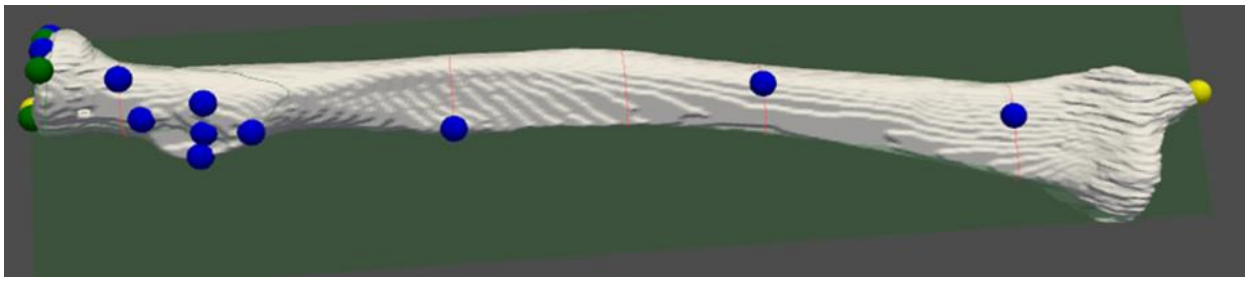


Рис. 2. Реперные точки на компьютерной модели лучевой кости

Статистическая обработка результатов. Для всех количественных показателей проводили оценку распределения данных с использованием компьютерной программы «Statistica 13 for Windows». При распределении данных вычисляли максимальное и минимальное значения, среднее арифметическое и стандартное отклонение (M±σ). Для определения нормальности распределения данных применяли тест Шапиро–Уилка. Для определения различий между сравниваемыми выборками с уровнем значимости $p>0,05$ использовали t-критерий для независимых выборок. Для оценки корреляционной связи между изучаемыми параметрами использовали матрицу парных корреляций. Силу связи по шкале Чеддока определяли по величине коэффициента корреляции r.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Половые различия морфометрических показателей лучевых костей людей в сравнении с их компьютерно-томографическим изображением. Гендерное сравнение результатов остеометрии показало статистически значимые различия ($p<0,05$) между группами «мужчины» и «женщины». Большинство показателей ЛК у мужчин превосходили соответствующие параметры у женщин. Так, наибольшая длина ЛК отличалась в среднем на 9,34%, физиологическая длина ЛК на 8,76%, расстояние между ГЛК и бугристостью ЛК на 8,07%, ширина шейки ЛК на 5,75%, длина окружности шейки ЛК на 8,39%, длина бугристости ЛК на 17,62%, ширина бугристости ЛК на 12,19%, диаметр ГЛК во фронтальной плоскости на 5,07%. Одновременно с этим, показатель высоты ГЛК во фронтальной плоскости в первой точке измерения у женщин был больше, чем у мужчин на 11,58% ($p<0,05$).

Результаты остеометрии мацерированных ЛК не выявили статистически значимых различий (p>0,05) морфометрических показателей между группами первого и второго периодов зрелого и пожилого возрастов. Результаты изучения морфометрических показателей, полученных при помощи компьютерной томографии, совпадали с результатами аналогичных параметров костных препаратов.

Сравнительный анализ морфометрических параметров лучевой кости человека, полученных при проведении виртопсии и аутопсии локтевых суставов. Виртопсия локтевых суставов с последующей морфометрией ЛК подтвердила результаты, полученные при изучении изолированных ЛК. Средние значения параметров у мужчин и женщин показали статистически значимые различия (p<0,05). Особенно это заметно при анализе длиннотных параметров кости, таких как наибольшая, физиологическая и параллельная длина ЛК. Эти показатели составили у мужчин - 254,04±12,82мм, 246,74±6,95мм, 250,42±15,62мм, а у женщин - 209,50±9,45мм (p=0,0002), 201,61±12,15мм (p=0,00009), 207,82±9,27мм (p=0,0008), соответственно. При виртопсии проксимального отдела ЛК оказалось, что показатели ширины шейки ЛК, сагиттального диаметра шейки ЛК, длины окружности шейки ЛК, длины и ширины бугристости ЛК, сагиттального диаметра проксимального отдела в области бугристости ЛК, глубины суставной ямки ГЛК, высоты ГЛК в четырех точках и диаметров ГЛК во фронтальной и сагиттальной плоскостях не показали статистически значимых различий между группами «мужчины» и «женщины» (p>0,05). Однако, у мужчин средние значения этих параметров были больше на 1,97 - 15,46%, чем у женщин.

Сравнение результатов аутопсии между мужчинами и женщинами оказались практически идентичные с результатами виртопсии. Статистически значимые отличия (p<0,05) продемонстрировали следующие параметры: наибольшая, физиологическая и параллельная длины ЛК, сагиттальный диаметр диафиза ЛК, наименьшая длина окружности диафиза ЛК, длина окружности середины диафиза ЛК, сагиттальный диаметр проксимального отдела в области бугристости.

При сравнении морфометрических параметров, полученных при виртопсии, с показателями аутопсии, оказалось, что последние больше на 2-3 мм. Эта разница укладывается в средние размеры суставного хряща головки лучевой кости [Kim

H.M. et al., 2016]. Разница хорошо заметна при изучении проксимального отдела и длиннотных параметров ЛК. Данные параметры при аутопсии у мужчин больше на 9,5 - 14,84%, у женщин на 11,36 - 14,97%, чем при виртопсии.

Анализ прижизненной компьютерной томографии проксимального отдела лучевой кости человека. При сравнении результатов компьютерных томограмм ЛК мужчин и женщин по возрастным группам большинство рассмотренных параметров показали статистически значимые половые отличия ($p<0,05$).

Результаты исследования проксимального отдела показали, что глубина суставной ямки головки лучевой кости у мужчин первого и второго периодов зрелого, пожилого и старческого возрастов равна - 2,44±0,65 мм, 3,39±0,93 мм, 3,09±1,17 мм, 3,39±0,45 мм, соответственно. У женщин данный параметр составил - 2,04±0,91 мм, 2,60±0,49 мм, 2,35±0,50 мм, 2,48±0,86 мм, соответственно, то есть был на 0,40-1,35 мм меньше аналогичного показателя у мужчин. Обращает на себя внимание разница максимальных значений показателя глубины суставной ямки ГЛК во втором периоде зрелого возраста. У мужчин названный показатель достигал 5,63 мм, тогда как у женщин той же возрастной группы равнялся 3,37 мм, разница составила 2,26 мм.

Показатели морфометрии диаметров головки лучевой кости продемонстрировали статистически значимые различия ($p<0,05$) между группами «мужчины» и «женщины» всех рассмотренных возрастных групп. Результаты компьютерной томографии высоты ГЛК во фронтальной (Ф1,Ф2) и сагиттальной (С1;С2) плоскостях в четырех точках измерения показали статистически значимые различия между группами «мужчины» и «женщины» ($p<0,05$). Параметры показали достоверные отличия ($p<0,05$) во втором периоде зрелого и пожилого возрастов. Кроме этого, высота ГЛК в сагиттальной плоскости в первой точке измерения (С1) в первом периоде зрелого возраста также имела статистически значимые отличия ($p<0,05$) по сравнению с людьми пожилого возраста.

Корреляционный анализ результатов прижизненной компьютерной томографии. Анализ связи показателей наибольшей длины лучевой кости с глубиной суставной ямки ГЛК, диаметрами и высотой ГЛК во фронтальной и

сагиттальной плоскостях свидетельствует в пользу ее линейного характера и прямой положительной связи.

Таблица 2

Оценка силы связи между наибольшей длиной ЛК и морфометрическими параметрами проксимального отдела лучевой кости у мужчин

Параметры		Коэффициент корреляции (r)	Оценка силы связи
Глубина суставной ямки		0,36	Слабая
Диаметр ГЛК во фронтальной плоскости		0,25	Практически отсутствует
Диаметр ГЛК в сагиттальной плоскости		0,33	Слабая
Высота ГЛК	Ф1	0,09	Практически отсутствует
Высота ГЛК	Ф2	0,41	Слабая
Высота ГЛК	С1	0,33	Слабая
Высота ГЛК	С2	0,26	Практически отсутствует
Примечание - *здесь и в табл. 3, 4*: ГЛК - головка лучевой кости, Ф1 - расстояние между наименьшим и наибольшим основанием ГЛК в первой точке измерения во фронтальной плоскости, ориентированное относительно бугристости ЛК; Ф2 - расстояние между наименьшим и наибольшим основанием ГЛК во второй точке измерения во фронтальной плоскости, ориентированное относительно бугристости ЛК**;** С1 **-** расстояние между наименьшим и наибольшим основанием ГЛК в первой точке измерения в сагиттальной плоскости, ориентированное относительно бугристости ЛК, С2 - расстояние между наименьшим и наибольшим основанием ГЛК во второй точке измерения в сагиттальной плоскости, ориентированное относительно бугристости ЛК.			

Таблица 3

Оценка силы связи между наибольшей длиной ЛК и морфометрическими параметрами проксимального отдела лучевой кости у женщин

Параметры		Коэффициент корреляции (r)	Оценка силы связи
Глубина суставной ямки		0,23	Практически отсутствует
Диаметр ГЛК во фронтальной плоскости		0,25	Практически отсутствует
Диаметр ГЛК в сагиттальной плоскости		0,40	Слабая
Высота ГЛК	Ф1	0,22	Практически отсутствует
Высота ГЛК	Ф2	0,19	Практически отсутствует
Высота ГЛК	С1	0,16	Практически отсутствует
Высота ГЛК	С2	0,13	Практически отсутствует

По результатам анализа видно, что у мужчин (табл. 2) сила связи между наибольшей длиной ЛК и глубиной суставной ямки, диаметром ГЛК в сагиттальной плоскости, высотой ГЛК во фронтальной плоскости во второй точке измерения и в первой точке измерения в сагиттальной плоскости – слабая (r = 0,3 - 0,5). Такие параметры как: диаметр и высота ГЛК

во фронтальной плоскости в первой точке измерения и сагиттальной плоскости во второй точке измерения показали практически отсутствие связи (r = до 0,3) (рис. 3).

У женщин (табл. 3) связь между наибольшей длиной ЛК и рассмотренными параметрами практически отсутствовала, кроме связи между наибольшей длиной ЛК и диаметром ГЛК в сагиттальной плоскости, оценка силы связи между данными параметрами – слабая (r = 0,40) (рис. 4).

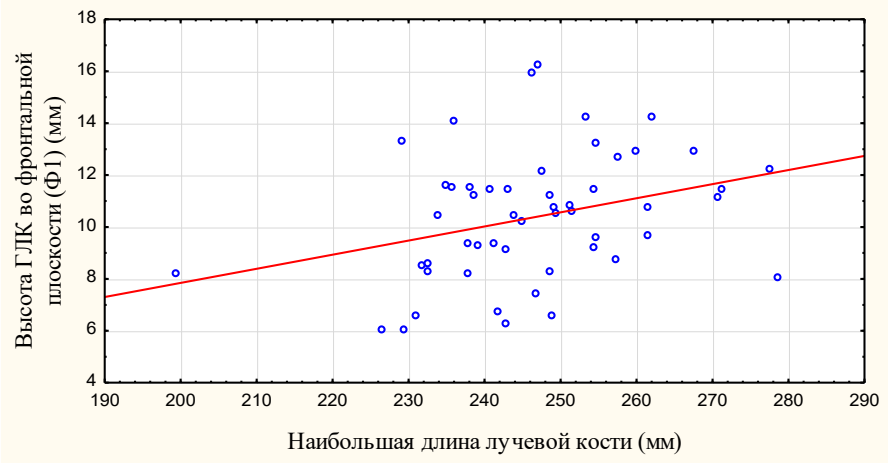


Рис. 3. Корреляция между наибольшей длиной ЛК и высотой ГЛК во фронтальной плоскости в первой точке измерения (Ф1) у мужчин, r = 0,09

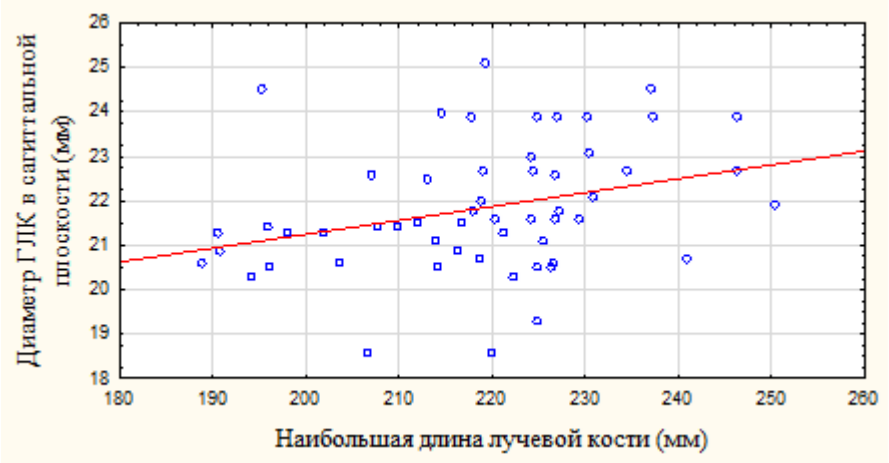


Рис. 4. Корреляция между наибольшей длиной ЛК и диаметром ГЛК в сагиттальной плоскости у женщин, r = 0,40

Результаты анализа показали, что у мужчин увеличение значений наибольшей длины ЛК сопровождается увеличением глубины суставной ямки, диаметра ГЛК в сагиттальной плоскости, высоты ГЛК во фронтальной плоскости во второй точке и в первой точке в сагиттальной плоскости, однако связь слабая. У женщин

корреляционный анализ показал практически отсутствие связи между параметрами, исключение составил диаметр ГЛК в сагиттальной плоскости.

Таким образом, числовые значения параметров проксимального отдела не зависят от значения длины лучевой кости, то есть длиннотные размеры ЛК не являются обязательными достоверными показателями размеров ее проксимального отдела.

Результаты разработки компьютерной программы автоматического анализа изображений компьютерных томограмм лучевой кости с возможностью ее моделирования. Для получения результатов компьютерного моделирования (КМ) в нашем исследовании использовались компьютерные томограммы пациентов второго периода зрелого возраста обоего пола. Результатом обработки является список заданных параметров и их цифровые значения (рис. 5). Результаты КМ сравнивали с результатами КТ, полученными рутинным стандартным методом в программе RadiAnt DICOM Viewer.

```
Морфометрические параметры:
Наибольшая длина: 255.2 мм
Физиологическая длина: 238.7 мм
Параллельная длина: 251.1 мм
Расстояние от головки до бугристости: 40.3 мм
Ширина диафиза: 18.3 мм
Ширина середины диафиза: 18.2 мм
Ширина головки: 18.7 мм
Ширина шейки: 16.9 мм
Ширина дистального эпифиза: 25.5 мм
Сагиттальный диаметр диафиза: 13.7 мм
Сагиттальный диаметр шейки: 18.1 мм
Наименьшая окружность диафиза: 55.5 мм
Окружность середины диафиза: 60.3 мм
Окружность шейки: 61.0 мм
Длина бугристости: 22.6 мм
Ширина бугристости: 11.8 мм
Сагиттальный диаметр проксимального отдела в области бугристости: 18.3 мм
Глубина суставной ямки: 1.8 мм
Окружность головки: 58.9 мм
Диаметр головки, направленный к бугристости: 17.0 мм
Диаметр головки, не напрвленный к бугристости: 23.5 мм
Высота головки (в четырех точках): 9.1/6.7/9.0/10.0 мм
Желаете сохранить измеренные параметры? (ДА/нет)
>нет
```

Рис. 5. Результаты обработки ЛК, полученные при помощи программы - «автоматизированное определение морфометрических параметров кости»

Числовые значения, полученные на компьютерных томограммах пациентов при помощи RadiAnt DICOM Viewer, оказались идентичными показателям компьютерного моделирования (рис. 6). Результаты показали отсутствие статистически значимых различий (p>0,05) средних значений как у мужчин, так и у женщин.

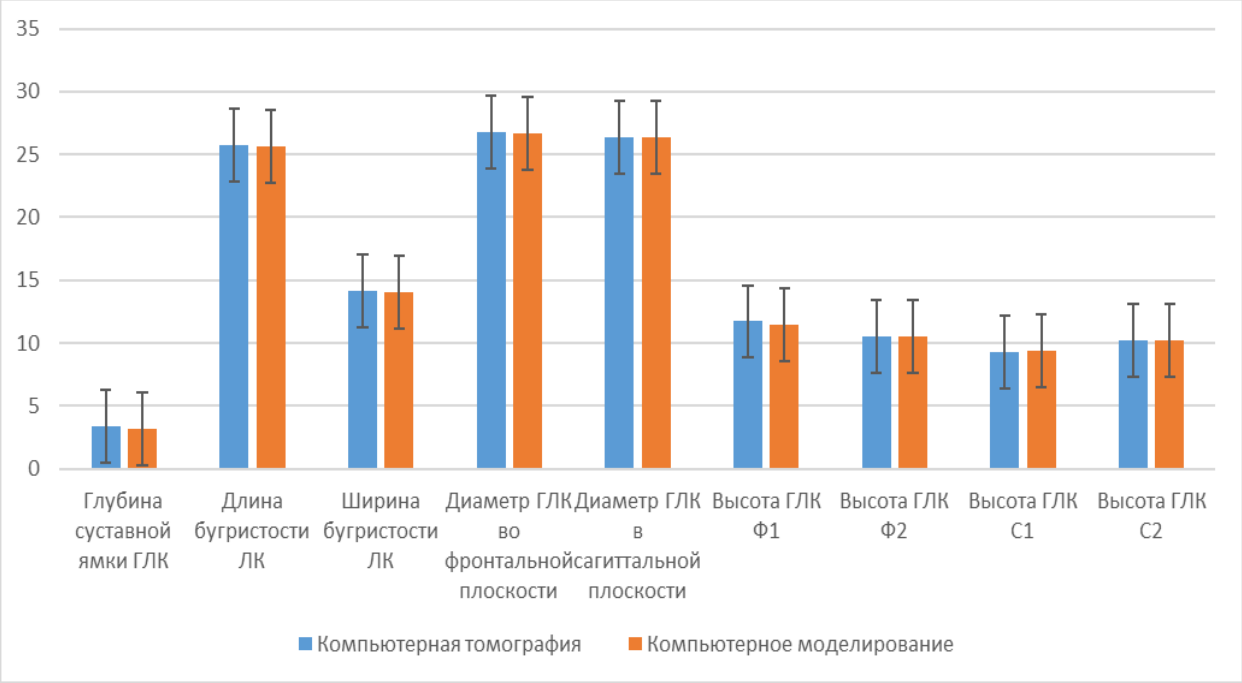


Рис. 6. Сравнение результатов компьютерной томографии лучевой кости и ее компьютерного моделирования у мужчин: *по оси абсцисс* – измеряемые параметры, *по оси ординат* – величина параметров (в мм); *вертикальные отрезки* – доверительный интервал

Анализ результатов прижизненной компьютерной томографии и анатомических исследований. Сравнительный анализ результатов представлен в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительный анализ результатов прижизненной компьютерной томографии с анатомическими исследованиями (мм)

Морфометрический параметр		**Прижизненная компьютерная томограмма локтевых суставов**	**Показатель уровня значимости (p-value)**	
			Остеометрия лучевых костей	**Аутопсия локтевых суставов**
Наибольшая длина ЛК		231,29±19,72	0,89	0,47
Физиологическая длина ЛК		223,27±18,57	$1,6\times10^{-4}$*	0,54
Параллельная длина ЛК		225,40±19,93	0,89	0,13
Расстояние между ГЛК и бугристостью ЛК		33,68±4,40	0,31	0,99
Ширина диафиза ЛК		15,73±3,23	0,05	0,01*
Ширина середины диафиза ЛК		14,26±6,25	0,12	0,04*
Ширина дистального эпифиза ЛК		28,72±18,71	0,95	0,16
Сагиттальный диаметр диафиза ЛК		12,84±2,24	$1,6\times10^{-4}$*	0,04*
Ширина шейки ЛК		15,05±2,15	$1,6\times10^{-4}$*	$1,6\times10^{-4}$*
Сагиттальный диаметр шейки ЛК		15,08±2,56	0,04*	0,02*
Наименьшая длина окружности диафиза ЛК		44,04±6,75	0,12	0,03*
Длина окружности середины диафиза ЛК		46,89±8,27	0,07	0,14
Длина окружности ГЛК		71,65±11,99	0,01*	0,19
Длина окружности шейки ЛК		49,52±7,00	$1,6\times10^{-4}$*	0,29
Длина бугристости ЛК		22,40±3,94	0,80	0,02*
Ширина бугристости ЛК		11,36±3,30	$1,6\times10^{-4}$*	0,01*
Сагиттальный диаметр проксимального отдела в области бугристости		19,71±2,91	$1,6\times10^{-4}$*	$1,6\times10^{-4}$*
Глубина суставной ямки ГЛК		2,61±0,84	$1,6\times10^{-4}$*	0,48
Диаметр ГЛК во фронтальной плоскости		23,96±2,96	$1,6\times10^{-4}$*	0,04*
Диаметр ГЛК в сагиттальной плоскости		23,90±2,65	$1,6\times10^{-4}$*	0,17
Высота ГЛК	Ф1	9,52±2,16	0,71	$1,6\times10^{-4}$*
	Ф2	8,95±1,83	0,07	$1,6\times10^{-4}$*
	С1	8,72±1,47	$1,6\times10^{-4}$*	0,71
	С2	9,18±1,73	0,01*	0,61
Примечание. * - статистически значимые различия				

Средние морфометрические значения ЛК, полученные по результатам прижизненной КТ, показали статистически значимые отличия с результатами остеометрии мацерированных костей и препаратов ЛК, полученных при аутопсии

($p<0,05$). Результаты прижизненной КТ оказались больше на 4,64-12,62%, чем результаты остеометрии. Наиболее заметно это при изучении параметров проксимального отдела ЛК: ширины шейки ЛК, длины окружности ГЛК, длины окружности шейки ЛК, ширины бугристости ЛК, сагиттального диаметра проксимального отдела в области бугристости, глубины суставной ямки ГЛК, диаметров и высоты ГЛК во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

Таким образом, в результате проведенного комплексного анатомического и компьютерно-томографического исследования были определены морфометрические параметры лучевой кости человека и ее проксимального эпифиза с учетом половых и возрастных особенностей. Была создана компьютерная программа, позволяющая в автоматизированном режиме на основе смоделированной ЛК получить ее точные цифровые показатели.

ВЫВОДЫ

1. Остеометрические показатели мацерированных ЛК (наибольшая и физиологическая длина, расстояние между головкой и бугристостью, ширина и длина окружности шейки, длина и ширина бугристости, диаметр ГЛК во фронтальной плоскости) у мужчин достоверно превышают аналогичные показатели у женщин на 5,07-17,62% ($p<0,05$). У женщин остеометрические показатели высоты ГЛК во фронтальной плоскости в первой точке измерения, ориентированной относительно бугристости ЛК достоверно больше, чем у мужчин на 11,58% ($p<0,05$).
2. Морфометрические параметры, полученные при виртопсии, меньше на 8,14-16,43% ($p<0,05$) показателей, измеренных в ходе аутопсии локтевых суставов, что наиболее заметно при анализе длиннотных параметров ЛК и морфометрии ее проксимального отдела (диаметр и высота ГЛК). При этом, у женщин параметры наибольшей, физиологической и параллельной длин ЛК, сагиттального диаметра диафиза ЛК, наименьшей длины окружности диафиза ЛК, длины окружности середины диафиза ЛК достоверно меньше аналогичных показателей у мужчин на 8,72-29,37% ($p<0,05$).
3. В генеральной выборке (без учета половых особенностей) большинство морфометрических показателей проксимального конца ЛК, полученных с

помощью прижизненной КТ, превышают аналогичные остеометрические параметры костных препаратов на 4,64-12,62% ($p<0,05$).

4. В генеральной выборке морфометрические показатели ЛК, полученные при проведении КТ пациентов, на 7,56-28,26% ($p<0,05$) меньше результатов аутопсии, исключение составляет показатель сагиттального диаметра проксимального отдела в области бугристости, который превышает аналогичный показатель на 18,17%.
5. Морфометрические показатели ГЛК у женщин не зависят от длиннотных размеров лучевой кости, что подтверждается результатами корреляционного анализа. У мужчин выявлена слабая прямая корреляционная зависимость между значениями наибольшей длины ЛК и показателями диаметра, высоты ГЛК, глубины суставной ямки.
6. Разработанная программа автоматического анализа томограмм, позволяет провести компьютерное моделирование лучевой кости и получить числовые значения заданных параметров. Морфометрические показатели, полученные на компьютерной модели ЛК с использованием предложенной программы идентичны показателям, измеренным на компьютерных томограммах при помощи программы RadiAnt DICOM.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Полученные морфометрические параметры лучевой кости человека рекомендуется учитывать при проведении артропластики локтевого сустава.
2. Результаты работы компьютерного моделирования лучевой кости рекомендуется использовать при создании индивидуальных протезов ее головки.
3. Полученные результаты рекомендуется использовать в антропологических научных исследованиях.
4. Полученные данные рекомендованы к использованию при изучении разделов «Остеология» и «Артрология» на кафедрах анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ЛК – лучевая кость
ГЛК – головка лучевой кости
КТ – компьютерная томограмма
КМ – компьютерное моделирование

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Самохина А.О**. Сравнительная анатомия лучевой кости человека по результатам виртопсии, аутопсии, прижизненной компьютерной томографии и компьютерного моделирования // Оренбургский медицинский вестник. IX Всероссийский съезд анатомов, гистологов и эмбриологов России с международным участием «Фундаментальная и прикладная морфология в XXI веке», посвященному 95-летию з.д.н. РФ, проф. И.И. Кагана и 100-летию со дня рождения академика РАМН и РАН, з.д.н. РФ М.Р. Сапина. - Оренбург, 2025, Т. XIII, №2 (50), С. 270 (РИНЦ).

2. 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. 2025. Т. 31. № 1. С. 68-75. DOI: 10.17816/2311-2905-17599 (Перечень ВАК – К1, Scopus, рейтинг Science Index - 7,668)

3. **Самохина А.О.**, Шемяков.С.Е., Владимирова Я.Б., Чевжик Ю.В. Гендерные отличия лучевой кости человека по результатам компьютерной томографии и компьютерного моделирования // Материалы Всероссийской научной конференции «Достижения отечественной морфологии» (Сибирский морфологический форум-2025), посвященной 50-летию кафедры морфологии и общей патологии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России. - Томск, 2025. С. 253-254.

4. **Самохина А.О.**, Шемяков С.Е. Сравнительная анатомия лучевой кости человека по результатам компьютерной томографии и 3d-моделирования // Достижения современной морфологии. Сборник статей Международной научно-практической конференции, приуроченной 95-летию профессора П.И. Лобко. В 2-х частях. – Минск: БГМУ, 2024. С. 195-198 (РИНЦ).

5. **Самохина А.О.**, Шемяков С.Е. Сравнительная анатомия лучевой кости человека по результатам виртопсии, аутопсии и компьютерного моделирования // Анатомия в XXI веке - традиция и современность. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 120-летию профессора М.Г. Привеса и 125-летию кафедры клинической анатомии и оперативной хирургии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова. - Санкт-Петербург: Изд-во Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2024. С. 218-220 (РИНЦ).

6. Самохина А.О., Шемяков С.Е., Семчук И.П., Самородов А.В., Чевжик Ю.В. Автоматизированное определение морфометрических параметров лучевой кости человека по результатам её компьютерной томографии // Бюллетень

экспериментальной биологии и медицины. 2023. Т. 176. № 12. С. 801-804. DOI: 10.47056/0365-9615-2023-176-12-801-804 (Scopus, рейтинг Science Index - 9,293)

7. Самохина А.О., Шемяков С.Е., Чевжик Ю.В. Морфометрические показатели лучевой кости в аспекте протезирования её проксимального отдела // Медицинский вестник Башкортостана. 2024. Т. 19. № 4 (112). С. 49-51. (Перечень ВАК – К2, рейтинг Science Index - 3,702)

8. **Самохина А.О.**, Шемяков С.Е., Ким О.А. Сравнительный анализ остеометрических параметров лучевой кости человека и ее компьютерно-томографического изображения // VII Международная научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы развития судебной медицины и морфологии в условиях становления Евразийского экономического союза — 2023». Проблемы и вызовы фундаментальной и клинической медицины в XXI веке. Выпуск судебная медицина и морфология. – Бишкек, 2023. С. 377-383.

9. **Самохина А.О.**, Шемяков С.Е., Чевжик Ю.В. Сравнительный анализ остеометрических параметров головки лучевой кости человека и ее компьютерно-томографического изображения // Сборник научных статей «Актуальные проблемы морфологии на современном этапе», посвященный 85-летию С. П. Ярошевича. - Минск, 2023. С. 459-461.

10. **Самохина А.О.**, Шемяков С.Е. Анатомия головки лучевой кости человека - основа выбора импланта // Одонтологические морфологические чтения. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. - Воронеж: Изд-во Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2022. С. 273-275 (РИНЦ).

11. **Самохина А.О.**, Шемяков С.Е., Владимирова Я.Б., Чевжик Ю.В. Морфометрические параметры лучевой кости - основа протезирования локтевого сустава // Морфологические школы сегодня. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - Воронеж: Изд-во Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2022. С. 303-306 (РИНЦ).

12. Самохина А.О., Шемяков С.Е., Ратьев А.П. Морфометрические параметры головки лучевой кости человека - основа индивидуализированного подхода к ее протезированию // Морфологические ведомости. 2022. Т. 30. № 4. С. 72-78. DOI: 10.20340/mv-mn.2022.30(4).730 (Перечень ВАК – К3, рейтинг Science Index - 3,063)

13. **Самохина А.О.**, Чевжик Ю.В., Шемяков С.Е. Остеометрические параметры головки лучевой кости - основа протезирования при многооскольчатых переломах // Клинико-морфологические аспекты фундаментальных и прикладных медицинских исследований. материалы II Международной научной конференции, посвященной 30-летию

Международного института медицинского образования и сотрудничества ВГМУ им. Н. Н. Бурденко. Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко; Научное медицинское общество анатомов, гистологов и эмбриологов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2022. С. 89-91 (РИНЦ).

РЕЗЮМЕ

кандидатской диссертации Самохиной Анны Олеговны «Морфометрическая характеристика проксимального отдела лучевой кости человека и ее компьютерное моделирование»

В работе дана комплексная сравнительная характеристика антропометрических показателей изолированных костных препаратов лучевой кости человека и их компьютерно-томографического изображения. Проведена виртопсия верхних конечностей с последующим проведением аутопсии и морфометрическим исследованием. Проведен математический анализ результатов прижизненной компьютерной томографии проксимального отдела лучевой кости человека в сравнении с результатами анатомических исследований. Определены индивидуальные особенности рентгенанатомических показателей проксимального отдела лучевой кости с учетом возраста и пола пациентов. Разработана компьютерная программа автоматического анализа изображений томограмм лучевой кости с возможностью ее моделирования.

SUMMARY

PhD dissertation by Samokhina Anna Olegovna «Morphometric characteristics of the proximal human radius and its computer modeling»

This study provides a comprehensive comparative characterization of the anthropometric parameters of isolated human radial bone specimens and their corresponding computed tomography (CT) images. A "virtopsy" (virtual autopsy) of the upper limbs was performed, followed by a conventional autopsy and a morphometric analysis. A mathematical analysis was conducted comparing the results of in vivo computed tomography of the proximal human radius with findings from anatomical examinations. Individual variations in the radiologic-anatomical parameters of the proximal radius were identified, accounting for the age and sex of the subjects. Additionally, a computer program was developed for the automated analysis of CT images of the radius, which also enables the creation of models of the bone.