

Doi: 10.52341/20738080_2024_132_5_51

ОШИБКИ МЕТОДИКИ КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ 3D-ИМПЛАНТАТОВ



ТРОЯН В.Н.,
д.м.н., профессор, начальник центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ «Главный военный кли-

нический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, полковник мед. службы, vtroyan10@yahoo.com



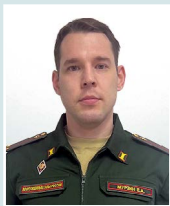
КУЧЕРЕНКО А.А.,
врач-рентгенолог 1 рентгенологического кабинета Центра лучевой диагностики ФГБУ

«Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, gaydykovaanna94@gmail.com



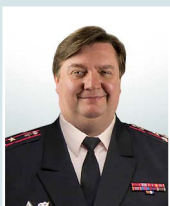
КУКУШКО Е.А.,
начальник травматологического отделения (реконструктивно-восстановительного) Центра травматологии и ортопедии ФГБУ «Главный во-

енный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, майор мед. службы, doctraina87@gmail.com



МУРЗИН Е.А.,
ординатор операционного отделения Центра травматологии и ортопедии ФГБУ

«Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, лейтенант мед. службы, murzin1992@list.ru



ГРИЦЮК А.А.,
д.м.н., профессор, врач-травматолог-ортопед, консультант ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ

ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), полковник мед. службы запаса, drgamma@gmail.com

Статья посвящена совершенствованию методики проведения компьютерно-томографических исследований при планировании 3D-имплантатов.

Ключевые слова: КТ-исследование, 3D-имплантат, огнестрельный дефект костей, аддитивные технологии, индивидуальный имплантат.

ERRORS IN THE METHODS OF COMPUTED TOMOGRAPHIC STUDY WHEN PLANNING 3-D IMPLANTS

Troyan V., Kucherenko A., Kukushko E., Murzin E., Gritsyuk A.

The paper is devoted to improvement of the methods of computed tomographic studies when planning 3-D implants.

Key words: computer tomographic study, 3D-implant, gunshot bone defect, additive technologies, individual implant.

Введение

Количество операций по эндопротезированию с каждым годом стремительно растёт. Среди показаний к операции последствия травм выходят на первое место. Наличие вооружённых конфликтов существенно увеличивает эти показатели и становится сложной клинической проблемой военной медицины в части лечения боевых ранений [1]. Тактика лечения при огнестрельных повреждениях конечностей является трудной задачей, поскольку тяжесть огнестрельных ранений различна, и от этого зависит длительность проводимого лечения [2]. Перед военными врачами стоят важные цели – такие, как нахождение оптимальных подходов к диагностике и лечению пациентов, сокращение количества ампутаций и инвалидизаций, а также возобновление функций конечности и стабилизация показателей при возвращении военнослужащих к исполнению боевых задач [3]. Определить объём вмешательства, возможность восстановить длину конечности, обеспечить

функцию, а главное – определиться с тактикой лечения и конструкциями можно только на основании компьютерной томографии (КТ), от качества и объёма которой зависит конечный результат.

Рентгенологические методы исследования позволяют выявить наличие дефекта, оценить объём повреждения конечности, а также помогают развивать новые технологии по проектированию индивидуальных имплантатов [4, 5]. КТ-исследование с трёхмерной реконструкцией лежит в основе создания индивидуального имплантата, который может максимально учесть анатомические особенности дефектов кости, размер и форму [1, 6]. Применение 3D-технологии рассматривается в качестве перспективного направления в решении проблем замещения дефектов костей различных размеров и локализаций [4].

Для обеспечения более детальной печати модели имплантата, а также для разработки методических рекомендаций, влияющих на качество проектирования и печати, необходимо определить ошибки, которые могут привести к осложнениям при проведении операции. Изготовление индивидуального имплантата проходит много этапов: от проведения КТ и сегментирования до печати на 3D-принтере, очистки и постобработки.

На каждой стадии есть вероятность появления незначительных и/или объёмных анатомических или геометрических ошибок. На качество воспроизводимости 3D-модели влияет сумма неточностей, вносимых на каждом этапе создания модели. Ошибки, совершаемые в процессе дисциплинарного характера при обследовании пациентов, влекут за собой погрешности в тактике лечения, которые в недостоверных расчетах при моделировании и дальнейшем изготовлении 3D-имплантата приводят к временным и экономическим потерям, а также могут явиться причиной ятрогенного ущерба пациента.

Освещение методических аспектов проведения КТ-исследования позволит определить необходимость стандартизации протоколов в целях улучшения качества изображений переломов, необходимых для проектирования индивидуальных имплантатов.

Цель исследования

Совершенствование методики проведения КТ-исследований при планировании 3D-имплантатов.

Материалы и методы

Выполнен ретроспективный анализ клинических данных 80 пациентов (71 (88,75%) мужчина и 9 (11,25%) женщин), получивших огнестрельное ранение конечностей, которые находились на лечении в ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России (далее – ГВКГ, госпиталь) в 2021–2024 гг. Возраст пациентов варьировался от 19 до 45 лет. КТ-исследование выполнялось на аппаратах GE Optima CT660 (США) и GE Optima CT640 (Израиль). Из 80 КТ-исследований 42 КТ были выполнены в госпитале, 38 КТ получены из других лечебных учреждений. Однако не все файлы исследования были взяты в работу, поскольку не соответствовали требованиям.

Пациентам планировалось замещение дефектов костей конечностей с помощью аддитивных технологий. Распределение дефектов костей конечностей по локализации представлено в таблице.

Результаты

Проведён анализ КТ-исследований пациентов с обширными дефектами костей конечностей (80 чел.), что составляет не менее 22% от общей длины сегмента. Данные DICOM-файлов служат фундаментальной основой при создании индивидуального имплантата, от качества которого зависит конечный результат. В ГВКГ проводятся операции с использованием аддитивных технологий, поэтому работа рентгенологического отделения активно организовывается совместно с оперирующими хирургами и биоинженерами. В связи с этим в госпитале число ошибок с каждым разом стремительно снижается, однако для сокращения количества некорректных КТ-снимков недостаточно провести такую работу в одном учреждении, важно ещё транслировать наработки в других лечебных учреждениях. Следовательно, необходимо провести работу по унификации протоколов КТ-исследования.

Локализация дефектов костей

Качество КТ	Локализация			
	Локтевой сустав	Плечевая кость	Бедренная кость	Коленный сустав
Количество корректных КТ-исследований	27 (33,75%)	32 (40%)	8 (10%)	13 (16,25%)
КТ неудовлетворительного качества	9 (33,3%)	5 (15,62%)	1 (12,5%)	6(46,15%)
Итого	36	37	9	19



Рис. 1. КТ лучевого сустава. Реконструкция выполнена с недостаточным количеством срезов (более 1,5 мм).

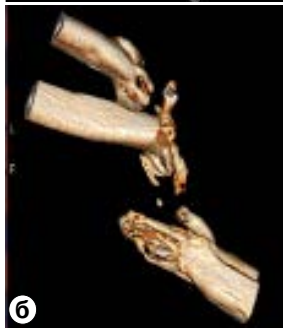
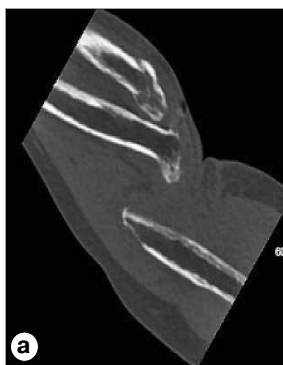


Рис. 2: а – КТ, б – трёхмерная реконструкция левого локтевого сустава с недостаточной зоной интереса.

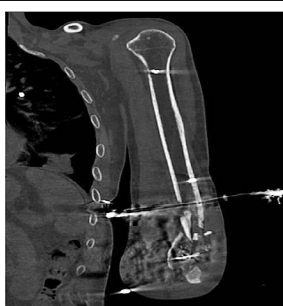


Рис. 3. КТ-исследование левой плечевой кости, выполненное без применения режима «металлоподавления».

Выявленные ошибки

При анализе всех КТ пациентов с ранениями конечности (снимков, полученных в госпитале и в других лечебных учреждениях), которым показана операция по замещению дефекта, обнаружены следующие диагностические ошибки:

- 12 пациентам установлена недостаточная толщина среза (необходимый шаг среза – от 0,6 до 1 мм), рис. 1;
- у 17 пациентов оказалась недостаточной область диагностики (рис. 2 а, б);
- 9 пациентам выполнено исследование без режима «подавления металла» (рис. 3);
- у 2 пациентов в зону сканирования не вошла интересующая область (рис. 4 а, б);
- 4 КТ-файла имеют артефакты, которые возникли в процессе движения пациента в аппарате (погрешность при проектировании будет равна амплитуде перемещений больного, и принимающее ложе не совпадёт с имплантатом) (рис. 5, с. 54).

Погрешность при проектировании будет равна количеству допущенных ошибок как во время проведения диагностики, так и при проектировании имплантата, есть вероятность получить подобный результат (рис. 6, с. 54).

Обсуждение

Использование титановых имплантатов для замещения обширных костных дефектов, выполненных методом 3D-печати, расширяет возможность проведения органосохраняющих операций. Проектирование титановых имплантатов осуществляется по данным КТ пациентов. При планировании операции по замещению дефекта кости конечности необходимы особые критерии по укладке и настройкам оборудования, толщине срезов и количеству исследуемых областей (рис. 7, с. 54).

В ходе работы был проведен сравнительный анализ и установлено, что 15% ошибок допущено при выборе толщины срезов; 21,25% составили КТ-снимки, в область сканирования которых не вошли близлежащие суставы; в 11,25% случаев не был установлен режим «металлоподавления»; в 2,5% область, которую необходимо заместить, не вошла в зону сканирования. А также: файлы КТ с наличием артефактов составили 5%, помехи на КТ снимках перекрывали зону интереса.

Таким образом, анализ представленных данных показал, что КТ-исследования, выполненного больным с обширными ранениями конечностей по стандартным рентгенологическим укладкам, недостаточно. Важно придерживаться рекомендаций проведения КТ-исследования для пациен-

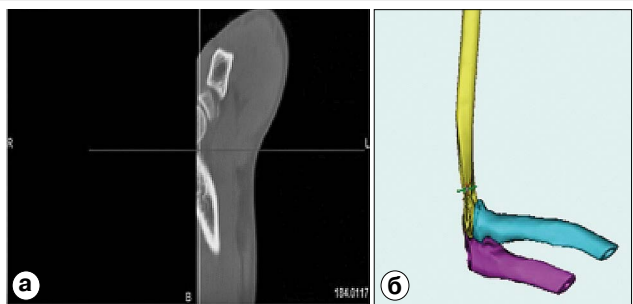


Рис. 4: а – КТ-исследование, б – трёхмерная реконструкция локтевого сустава, в область сканирования которого не вошла зона интереса – локоть (обрезали).

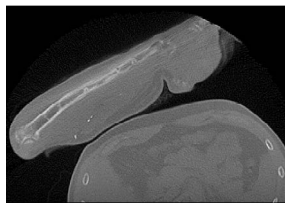


Рис. 5. КТ-исследование правой плечевой кости с подвижными артефактами.



Рис. 6. Рентгенограмма левого лучезапястного сустава с установленным индивидуальным имплантатом дистального отдела локтевой кости, с нестабильностью локтевого компонента.



Рис. 7. Правильно выполненное КТ-исследование, необходимое для проектирования 3D-имплантата.

тов с дальнейшей реконструктивной операцией, поскольку индивидуальный имплантат должен плотно прилегать к принимающему ложу и повышать возможность остеоинтеграции, а также подходить по контуру, изгибам, размерам, осям. Следует подчеркнуть, что проектирование имплантата по КТ низкого качества занимает намного больше времени (по сравнению с КТ хорошего качества), снижает вероятность положительных результатов, а также приводит к временным и экономическим потерям.

Заключение

КТ – это метод исследования, который позволяет не только оценить характер и размер повреждения, но и проектировать имплантаты по данным *Disom*-файлов. Рентгенологам, выполняющим компьютерное исследование пациентам, которым планируется операция по замещению костного дефекта с помощью 3D-имплантата, необходимо помнить о факторах, влияющих на точность проектируемой модели. Как видно из примеров, описанных в данной статье, снимки должны быть высокого качества. При этом:

- минимальная толщина реконструкции – от 0,625 до 1 мм;
- установлен режим «металлоподавления»;
- в область исследования включены смежные суставы и контралатеральная конечность.

Данные рекомендации способствуют более быстрому и четкому проектированию, что необходимо для качественного использования 3D-печати в медицинской практике. Чем выше качество КТ, тем точнее будет спроектирован имплантат.

Литература

1. Керимов А.А., Кукушко Е.А., Хоминец В.В., Нелин Н.И., Кучеренко А.А., Грицюк А.А. Результаты лечения массивных диафизарных дефектов бедренной кости после огнестрельных ранений с использованием аддитивных технологий // *Кафедра травматологии и ортопедии*. – 2023. – (4): 43–52. <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-4-43-52>
2. Брижань Л.К., Давыдов Д.В., Хоминец В.В., Керимов А.А., Арбузов Ю.В., Чирва Ю.В., Пыхтин И.В. Современное комплексное лечение раненых и пострадавших с боевыми повреждениями конечностей // *Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова*. – 2016. – 11(1): 74–80.
3. Fernández M.P., Witte F., Tozzi G. Applications of X-ray computed tomography for the evaluation of biomaterial-mediated bone regeneration in critical-sized defects // *J Microsc.* – 2020. – 277(3): 179–196. <https://doi.org/10.1111/jmi.12844>
4. Давыдов Д.В., Брижань Л.К., Керимов А.А., Кукушко Е.А., Хоминец И.В., Найда Д.А. Применение аддитивных технологий при замещении дефектов костей конечностей // *Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова*. – 2022. – 17(4–2): 57–63. https://doi.org/10.25881/20728255_2022_17_4_2_57
5. Toros T., Ozaksar K. Reconstruction of traumatic tubular bone defects using vascularized fibular graft // *Injury*. – 2021. – 52(10): 2926–2934. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.08.013>
6. Волошин В.П., Ошкуков С.А., Галкин А.Г., Еремин А.В., Шевырев К.В., Мартыненко Д.В., Степанов Е.В., Афанасьев А.А., Санкаранараянан Арумугам С. Замещение обширного диафизарного дефекта бедренной кости с применением аддитивных технологий // *Вестник Ивановской медицинской академии*. – 2020. – 25(2): 51–56. ■