

# МЕДИЦИНА

научно-практический рецензируемый журнал

<http://medicine.belmapo.by>

Учредитель журнала:  
ОО «Белорусская  
ассоциация врачей»

Издатель:  
Учреждение «Редакция  
журнала "Медицина"»  
Адрес редакции:  
Пр-т Независимости, 64, 220013,  
г. Минск  
Тел.: 331-92-58  
Тел/факс: 292-45-55  
Мобильный:  
8-029-322-38-05  
8-029-624-04-44

Компьютерная вёрстка  
Н. И. Кашуба

Выход в свет  
29.06.2015  
Формат 60 × 84 1/8  
Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 11,2  
Тираж 1100 экз.  
Заказ № 1104

Производственное дочернее  
унитарное предприятие  
«Типография Федерации  
профсоюзов Беларуси».  
Свидетельство о  
государственной регистрации  
издателя, изготовителя,  
распространителя печатных  
изданий №2/18 от 26.11.2013.  
г. Минск, пл. Свободы, 23-90.  
ЛП №02330/54 от 12.08.2013.

Цена журнала указана  
в каталоге подписки  
на текущий период

© «Медицина», 2015  
© Обложка.  
А. И. Наумова, 2015

Главный редактор  
**Николай Сергеевич  
СЕРДЮЧЕНКО**

**А. В. Белецкий**

**Ю. В. Вороненко (Киев)**

**А. В. Гейниц (Москва)**

**Ю. Е. Демидчик**

**И. В. Залуцкий**

**У. А. Курбанов (Душанбе)**

**А. В. Марочков**

**Д. Л. Пиневич**

**А. Ф. Смянович**

**А. В. Сукало**

**О. Г. Суконко**

**Л. П. Титов**

**Г. Я. Хулуп**

Отв. секретарь  
**Т. П. Петрович**

**В. И. Жарко**

**И. С. Абельская**

**А. Н. Лызиков**

**А. В. Сикорский**

**Н. М. Васильков**

**Ю. Н. Деркач**

**А. А. Стрижак**

**Р. А. Часнойть**

**Д. Е. Шевцов**

**В. И. Шрубов**

**М. А. Герасименко**

**П. Н. Михалевич**

**К. В. Яцкевич**

## Редакционная коллегия

*д-р мед. наук, профессор, академик-секретарь  
Отделения медицинских наук НАН Беларуси*

чл.-корр. НАН Беларуси, директор РНПЦ травматологии  
и ортопедии, д-р мед. наук, профессор  
академик АМН Украины, д-р мед. наук, профессор  
директор ФНЦ лазерной медицины, д-р мед. наук, профессор  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-р мед. наук, профессор  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-р мед. наук, профессор  
ректор ТГМУ им. Абуали ибни Сино, д-р мед. наук, профессор  
зав. реанимационно-анестезиологическим отд.  
Могилёвской областной больницы, д-р мед. наук  
первый заместитель Министра здравоохранения  
Республики Беларусь  
академик НАН Беларуси, д-р мед. наук, профессор  
заместитель председателя президиума НАН Беларуси,  
академик НАН Беларуси, д-р мед. наук, профессор  
директор РНПЦ онкологии и медицинской радиологии  
им. Н. Н. Александрова, д-р мед. наук, профессор  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-р мед. наук, профессор  
директор РНПЦ трансфузиологии медицинских технологий,  
д-р мед. наук, профессор

## Редакционный совет

Министр здравоохранения Республики Беларусь  
*(председатель редакционного совета)*

главный врач РКМЦ управления делами Президента  
Республики Беларусь, д-р мед. наук  
*(заместитель председателя редакционного совета)*

ректор Гомельского ГМУ, д-р мед. наук, профессор  
ректор Белорусского ГМУ, канд. мед. наук, доцент  
начальник управления здравоохранения  
Гомельского облисполкома

начальник управления здравоохранения  
Витебского облисполкома, д-р мед. наук

начальник управления здравоохранения  
Гродненского облисполкома

председатель Белорусского профсоюза работников  
здравоохранения, канд. экон. наук

председатель Белорусской ассоциации врачей  
*(заместитель председателя редакционного совета)*

начальник управления здравоохранения  
Могилёвского облисполкома

## Редакционно-издательская группа

д-р мед. наук, ректор БелМАПО  
*(заместитель главного редактора)*

доцент, канд. мед. наук  
*(заместитель главного редактора)*

заместитель главного редактора



## ТРЕХМЕРНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ И ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗАПЯСТЬЯ

**Аннотация.** Цель работы заключалась в разработке и внедрении методик диагностики и лечения внутрисуставных повреждений костей и связок запястья, обеспечивающих трехмерную объемную визуализацию патологических изменений, проведение качественной оценки результатов использования компьютерного моделирования. Оценку патологически измененного запястья проводили на трехмерной модели 3D-реконструкции рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) у 123 пациентов. Dicom-файлы РКТ использовали для генерирования трехмерной модели в компьютерной программе визуализации у 79 пациентов с внутрисуставными повреждениями запястья. Качественная оценка эффективности трехмерного моделирования в ходе проведения РКТ и в программе визуализации продемонстрировала явные преимущества методики в сравнении со стандартными методами лучевой диагностики ( $\chi^2 = 99,27, p < 0,001$ ) и ( $F$ -тест = 0,84,  $p < 0,001$ ) соответственно.

**Ключевые слова:** *трехмерное моделирование, рентгеновская компьютерная томография, запястье, программа визуализации, ладьевидная кость, полуполунная кость, перелом, аваскулярный некроз, нестабильность, хирургическое лечение.*

### Введение

Сложная пространственная форма запястья требует от врача всестороннего анализа результатов обследования лучевыми методами диагностики. Стандартная плоскостная модель повреждения, получаемая при рентгенологическом обследовании, уже не отвечает современным требованиям диагностики повреждений и планирования лечебного процесса. Двухмерная информация рентгенограммы не дает 100 %-ной возможности ранней диагностики, адекватной коррекции смещения. Суммационный эффект, осложняющий чтение рентгенограмм, а также не всегда ясная картина рентгенологических признаков перелома в целом замедляют процесс диагностики, ставят пациента перед необходимостью повторных обращений для определения лечебной тактики, продлевают период предварительного лечения [1; 2].

Бурный рост компьютерных технологий и активное внедрение их в лечебно-диагностический процесс у пациента с патологией опорно-двигательной системы, где качество оказания помощи напрямую зависит от эффективного и точного отображения патологически измененной области, вывели травматологию и ортопедию на совершенно новый более высокий уровень развития. Компьютерная объемная визуализация не только повысила качество диагностического процесса, но и кардинально изменила предоперационное планирование предстоящего лечения, в том числе и предполагаемого оперативного вмешательства [3].

**Цель работы** – разработать и внедрить методики диагностики и лечения внутрисуставных повреждений костей и связок запястья, обеспечивающие трехмерную объемную визуализацию патологических изменений, провести качественную оценку результатов использования компьютерного моделирования.

### Материалы и методы исследования

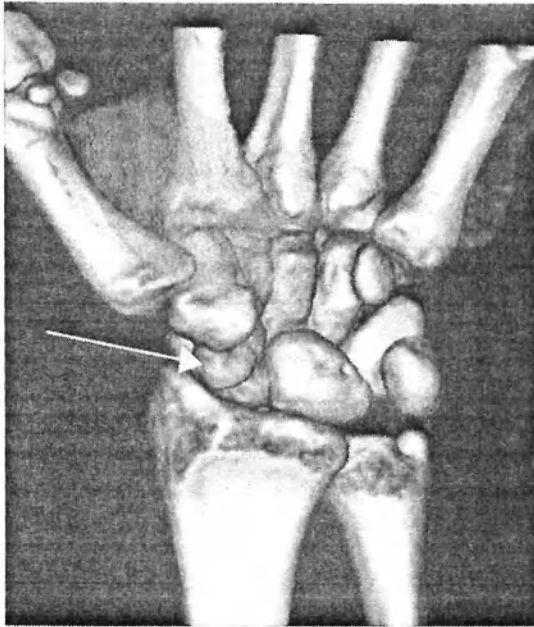
В Республиканском центре хирургии кисти УЗ «6-я городская клиническая больница г. Минска» и на кафедре травматологии и ортопедии БГМУ

в период с 2008 по 2015 г. специализированная травматолого-ортопедическая помощь оказана 289 пациентам с внутрисуставными повреждениями костей и связок запястья в возрасте от 16 до 70 лет. Большинство составили лица мужского пола – 252, женщин – 37. Оснащение клиники современным компьютерным томографом обеспечило внесение прогрессивных изменений в организацию лечебно-диагностического процесса у пациентов с внутрисуставными повреждениями запястья. Особое, а в ряде клинических ситуаций – первостепенное, значение придавали трехмерному моделированию, позволяющему специалисту получить представление о патологических изменениях в запястье не только на каком-либо уровне поврежденной области, но и в ходе оценки единой цельной объемной модели запястья.

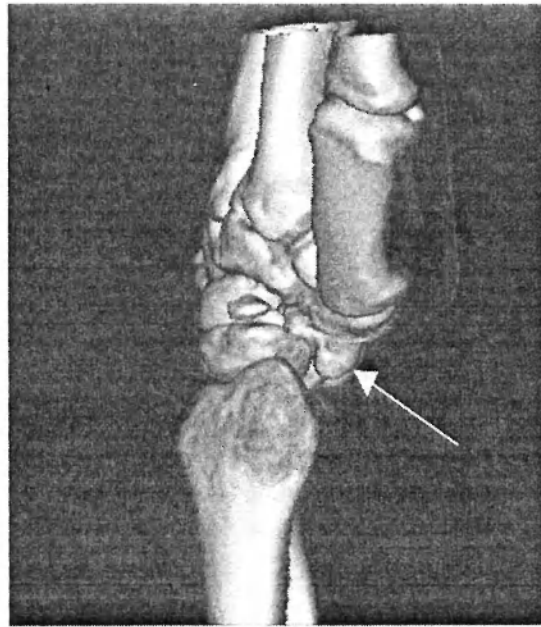
В диагностике у 123 пациентов с наиболее сложными деформациями, сопровождающимися нарушением взаимоотношений между костями запястья, применяли рентгеновскую компьютерную томографию (РКТ) с обязательной оценкой наряду с аксиальными, сагиттальными и фронтальными срезами модели 3D-реконструкции патологически измененного запястья [4].

При помощи трехмерной 3D-реконструкции запястья мы получали дополнительные характеристики повреждения, что обеспечивало всестороннюю предварительную оценку особенностей развившейся деформации и смещения отломков костей (рисунок 1). Проведение данного анализа позволило на объемной пространственной модели патологически измененного запястья более наглядно оценить выраженность и характер патологических изменений, определить истинное взаиморасположение костей, их патологическую установку.

Нами была применена методика изучения 3D-модели запястья по аналогии с традиционной оценкой плоскостных рентгенограмм по нескольким проекциям. Проводили обязательную визуализацию минимум 6 проекций трехмерной модели (прямые тыльная и ладонная проекции, боковые



а



б

а – прямая ладонная проекция, деформация и укорочение ладьевидной кости (указаны стрелкой); б – лучевая боковая проекция, выраженное смещение дистального фрагмента ладьевидной кости (указаны стрелкой)

Рисунок 1 – 3D-реконструкция РКТ запястья пациента А., ложный сустав ладьевидной кости со смещением D2

лучевая и локтевая проекции, косые проекции в полусупинации и полупронации). В последующем дополнительно стали использовать тыльную и ладонную тангенциальные проекции. Осмотр поврежденного запястья в данных ракурсах формировал практически полное представление о выраженности патологических изменений, облегчал процесс предоперационного планирования и принятия решения о выборе способа предстоящей реконструкции.

Основным недостатком моделирования и планирования на РКТ, с нашей точки зрения, была оторванность клинициста от процесса создания трехмерной модели и отсутствие возможности ее модифицирования в ходе планирования лечебно-диагностических мероприятий. Это явилось основанием для разработки компьютерной программы для проведения диагностики и предварительного планирования предстоящих лечебных мероприятий.

Программа визуализации патологии запястья с измерительным модулем и модулем поддержки хирургических операций была разработана и внедрена в клиническую практику в 2008–2011 гг. совместными усилиями сотрудников кафедры травматологии и ортопедии УО «Белорусский государственный медицинский университет», Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии» и УЗ «6-я городская клиническая больница г. Минска». Программа, в отличие от 3D-реконструкции на компьютерном томографе, не только позволила на персональном компьютере в трехмерном режиме создать модель патологически измененного запястья, но и более четкую визуализацию типов смещений фрагментов костей запястья. Трехмерные модели при помощи инструментов программы в ходе осмотра перемещали путем вращения

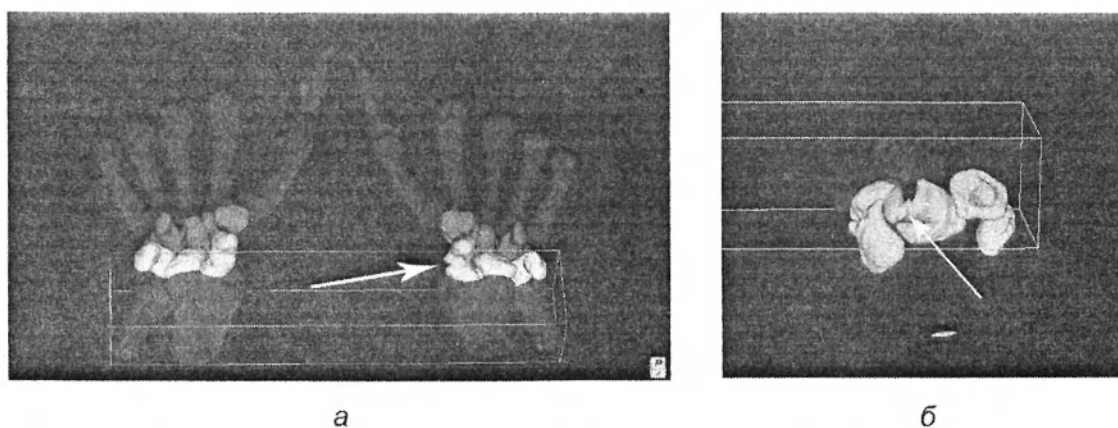
в произвольном режиме, проводя визуальную оценку в проекциях, предложенных для 3D-модели РКТ. Трехмерная визуализация предоставила исчерпывающую информацию о нарушениях взаимоотношений костей при различных вариантах нестабильности за счет возможности выполнения в программе сегментации и объемной визуализации отдельных элементов запястья, например, суставной поверхности среднезапястного сочленения, недоступной обзору при обследовании стандартными лучевыми методами (рисунок 2).

При помощи инструментов программы в зависимости от клинической ситуации и цели подготовки модели, диагностический этап сменялся этапом компьютерной реконструкции. С этой целью были разработаны компьютерные модели виртуальной остеотомии и виртуальной репозиции костных отломков. Программа визуализации создала условия для самостоятельного выполнения травматологом-ортопедом всех этапов процесса моделирования и виртуального планирования хода оперативного вмешательства за исключением первого этапа – проведения РКТ и получения DICOM-файлов пациента.

Компьютерное моделирование включало следующие этапы:

1. Сканирование тканей пациента с помощью компьютерного томографа;
2. Трехмерная реконструкция и визуализация;
3. Сегментация;
4. Измерение моделей костей;
5. Оценка результатов измерений и принятие решений относительно дальнейших действий;
6. Виртуальная остеотомия и репозиция.

С помощью инструментов программы визуализации трехмерные модели были генерированы у 79 пациентов, в том числе у 43 с переломами костей запястья, преимущественно, ладьевидной



а

б

а – прямая ладонная проекция, перелом, угловая деформация ладьевидной кости (указана стрелкой); б – сегментация проксимального ряда запястья (вид со стороны среднезапястного сустава), перелом, деформация ладьевидной кости, интерпозиция костного фрагмента в ладьевидно-полулунном сочленении (указан стрелкой)

Рисунок 2 – Трехмерная модель в программе визуализации запястий пациента А., ложный сустав ладьевидной кости со смещением D2

кости, у 17 – с различными типами нестабильности, у 19 – с аваскулярным некрозом полулунной кости.

При помощи измерительного модуля программы визуализации проводили измерения параметров ладьевидной и полулунной кости, высоты запястья и пясти, определяли позиционирование оси кости, что использовали для вычисления показателей запястья: ладьевидно-полулунного угла (ЛПУ), головчато-полулунного угла (ГПУ), запястно-пястного коэффициента (ЗПК), а также индекса Сталя, характеризующего правильную анатомическую форму полулунной кости.

Опции измерительного модуля и модуля хирургической поддержки программы также использовали для моделирования этапов реконструктивных вмешательств на костях запястья. В 10 случаях выполнена виртуальная репозиция отломков с определением размеров образовавшегося между ними дефекта, развившегося в результате резорбции костного вещества на фоне отсутствия адекватного лечения и продолжавшейся функциональной активности поврежденного запястья, а также параметров предполагаемого костного трансплантата. В 9 случаях поздней стадии аваскулярного некроза полулунной кости было проведено виртуальное удаление полулунной кости и фигурная удлиняющая остеотомия головчатой кости по разработанной нами методике [5], было проведено предварительное определение длины перемещения фрагмента головчатой кости и размеры костного трансплантата для восполнения образовавшегося костного дефекта. На 6 компьютерных моделях пациентов с начальными признаками аваскулярного некроза полулунной кости были проведены этапы виртуальной укорачивающей остеотомии лучевой кости, определен уровень пересечения и размеры сегмента, который необходимо было резецировать для разгрузки полулунной кости, зоны головчато-полулунного и полулунно-лучевого сочленений запястья.

## Результаты и их обсуждение

По используемым во время создания модели операции изображениям компьютерное планирование можно разделить на двумерное и трехмерное. При первом варианте обычно используют цифровые рентгеновские снимки, в которых заложена двумерная информация. Так как отклонения в строении сочленений запястья часто имеют трехмерный характер, двумерные снимки не дают полной информации о форме пространственных объектов и не позволяют точно вычислять их геометрические характеристики из-за искажений, вносимых проецированием трехмерного объекта на двумерную плоскость изображения [3]. При трехмерном планировании обычно работают с РКТ-изображениями. Трехмерное компьютерное планирование позволяет наиболее полно использовать геометрические характеристики объектов хирургического воздействия для вычисления параметров операции.

Изображения, полученные с помощью рентгеновского компьютерного томографа, предоставляют данные о пространственной структуре костей скелета. Однако у врача возникают сложности при интерпретации результатов и манипуляциях с трехмерными объектами на двумерном экране монитора. Компьютерная объемная визуализация необходима врачу-клиницисту не только в диагностике, но и при планировании лечебного процесса, в том числе и предполагаемого оперативного вмешательства [6]. Компьютерное моделирование основных этапов хирургической операции с целью подготовки реального вмешательства представляет собой прогрессивное направление современной ортопедии. Последовательность действий во время хирургической операции определяется хирургом самостоятельно на основании изучения состояния анатомических объектов по результатам предоперационного планирования, которое до недавнего времени традиционно осу-

ществлялось вручную на скиаграмме, изображении рентгенологических контуров на бумаге. Разработка автоматизированных компьютерных систем открыла путь виртуальному планированию всей последовательности действий во время хирургической операции при помощи специальных программных средств на компьютере [6–8].

В ходе исследований и совершенствования методики трехмерного моделирования патологии запястья нами были выработаны принципы компьютерного моделирования, которыми руководствуемся в настоящее время.

*Принцип сравнения.* Сравнительный анализ компонентов деформации облегчает хирургу процесс выстраивания плана лечебных мероприятий, определения последовательности этапов предстоящей операции, очередности устранения смещения отломков при переломах и восстановления положения костей и их рядов при вывихах.

*Принцип этапности моделирования.* Компьютерное моделирование патологически измененного запястья – это этапный процесс, включающий последовательность определенных действий, которые должен выполнить врач от получения первых данных обследования до получения искомой модели запястья и его реконструкции.

*Принцип объемности изображения.* Предполагает создание трехмерной объемной модели патологически измененного и здорового запястий пациента, что позволяет приблизить модель к реальному изображению сегмента верхней конечности.

*Принцип избирательности.* Заключается в обеспечении в процессе моделирования визуализации отдельных структурных элементов запястья как индивидуально, так и с рядом расположенными объектами.

*Принцип наглядности.* Последовательная реализация предыдущих принципов позволяет создать модель запястья пациента и максимально приблизить виртуальную модель к конкретной клинической ситуации. Компьютерная трехмерная модель запястья становится для хирурга своеобразным учебным тренажером в лечебно-диагностическом процессе.

*Принцип автономности.* Заключается в индивидуальном творческом подходе врача к лечебно-диагностическому процессу. Обладая инструментами программы визуализации и необходимой компьютерной техникой, врач имеет возможность самостоятельно изменять условия подготовки модели, ее характеристики, произвольно выбирать части запястья для сегментации и отдельного изучения, т. е. не только пассивно констатировать те или иные признаки патологических нарушений в запястье, но и активно участвовать в ходе установления диагноза и определения адекватных способов лечения.

Инструменты программы обеспечили четкое выявление места установки маркеров на определенных участках кости, что значительно облегчает процесс проведения оси и измерения как длины, так и различных углов – показателей, характе-

ризующих форму и взаиморасположение костей и рядов костей по отношению друг к другу. Эти особенности дают значительное преимущество врачу, работающему в программе, по отношению к измерительному процессу на плоскостном изображении стандартной рентгенограммы или среза РКТ.

Анализ полученных результатов измерений показателей запястья в программе визуализации показал статистически достоверную зависимость между типом повреждения и определяемыми показателями. Так, в результате измерений медиана длины ладьевидной кости составила на стороне повреждения 28,2 мм (26,1–29,6), на здоровой конечности – 29,2 мм (27,9–30,2). В уменьшение длины ладьевидной кости, наблюдавшееся в целом по группе пострадавших, основной вклад внесены показателями пациентов с переломами костей (уменьшение на 0,7 мм) и нестабильностью запястья (уменьшение на 0,4 мм). При аваскулярном некрозе полулунной кости показатели длины ладьевидной кости оставались неизменными по сравнению со здоровой конечностью, в то время как значение ЛПУ имело отклонения в сторону увеличения (ЛПУ 74° (52–80),  $p < 0,001$ ). В случаях нестабильности было получено достоверное увеличение (ГПУ 16° (4,0–25,8),  $p < 0,01$ ) по сравнению с группой переломов. Было выявлено статистически достоверное снижение значения индекса Сталя при аваскулярном некрозе по сравнению с переломами и нестабильностью на 0,16 ( $p < 0,001$ ) и 0,15 ( $p < 0,01$ ) соответственно. Такую же зависимость наблюдали при определении значения ЗПК поврежденного запястья, уменьшение показателя при аваскулярном некрозе на 0,05 ( $p < 0,001$ ) и 0,03 ( $p < 0,05$ ) по сравнению с подгруппами пациентов с переломами и нестабильностью соответственно. Величина перемещения одного из фрагментов относительно другого во время виртуальной репозиции или корригирующей остеотомии составила в общем 8,2 мм (7,1–8,9), при переломах – 7,8 мм (7,2–8,4), аваскулярном некрозе – 8,5 мм (3,2–9,3).

Нами была проведена качественная оценка возможностей визуализации патологических изменений на РКТ по сравнению с отображением признаков повреждений на плоскостной рентгенограмме.

Положительным результатом считали отображение рентгенологических признаков перелома или вывиха, возможность отображения нарушения целостности кости в зависимости от глубины локализации, наличие объемного отображения модели поврежденного запястья в случаях многокомпонентной и многоуровневой деформации.

Отрицательным результатом считали отсутствие признаков костной патологии, а также косвенных признаков повреждения связочных структур запястья. Полученные данные отражены в таблице 1.

Анализ полученных результатов продемонстрировал высокую эффективность в выявлении

Таблица 1 – Качественная оценка эффективности визуализации патологических изменений запястья РКТ и методом рентгенографии

Критерий	Количество случаев качественного выявления признака повреждения	
	Положительный	Отрицательный
Визуализация при помощи РКТ	115	8
Визуализация методом рентгенографии	30	93

патологических изменений запястья на РКТ по сравнению с методом рентгенографии ( $\chi^2 = 99,27$ ,  $p < 0,001$ ), при этом показатели качества составили следующие значения: Ч = 0,93; С = 0,76; ПЦПР = 0,79; ПЦОР = 0,92; ОП (LR) = 3,78.

С целью оценки эффективности компьютерного моделирования и планирования в разработанной программе визуализации была проведена качественная оценка визуализации патологических изменений запястья в ходе компьютерного моделирования и при использовании традиционных методик лучевой диагностики. К положительному результату относили возможность визуализации костей запястья и их сочленений, а также выявление всех характеристик произошедшей деформации кости или смещения отломков.

При использовании программы визуализации был получен один результат, который мы посчитали отрицательным, так как на модели запястья после застарелого перилунарного повреждения с вторичным остеопорозом не удалось выполнить избирательную маркировку костей запястья, что затруднило в дальнейшем процесс сегментации и визуализации среднезапястного пространства. Полученные результаты отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Качественная оценка эффективности визуализации патологических изменений запястья в программе визуализации и методами лучевой диагностики

Критерий	Количество случаев выявления признака повреждения	
	Положительный	Отрицательный
Визуализация при помощи инструментов программы	78	1
Визуализация методами лучевой диагностики	29	50

Анализ полученных результатов продемонстрировал высокую эффективность процесса визуализации патологических изменений запястья в программе визуализации ( $F$ -тест = 0,84;  $p < 0,001$ ), при этом показатели качества составили следующие значения: Ч = 0,99; С = 0,63; ПЦПР = 0,73; ПЦОР = 0,98; ОП (LR) = 2,69.

Высокая чувствительность метода визуализации патологических изменений запястья с использованием разработанной программы позволяет обосновать включение данного диагностического метода в алгоритм выявления ВПКСЗ в сложных клинических случаях при выявлении на РКТ деформаций запястья.

Результаты применения виртуальных моделей предстоящего оперативного вмешательства продемонстрировали преобладающие возможности программы визуализации по сравнению с методами лучевой диагностики, что явилось отражением высокой эффективности программы визуализации в выявлении сложной многоплоскостной и многокомпонентной деформации запястья и моделировании основополагающих этапов предстоящего оперативного вмешательства ( $F$ -тест = 1,0;  $p < 0,001$ ).

### Заключение

Таким образом, пациенты с повреждением запястья наряду с рентгенографией, особенно в случаях сомнительной рентгенологической картины, обязательно должны быть обследованы методом РКТ ( $\chi^2 = 99,27$ ,  $p < 0,001$ ), который в 3,78 раза превышает результативность стандартных лучевых методов плоскостной рентгенографии и впервые предоставил врачу-клиницисту возможность оценки трехмерной объемной модели патологически измененного запястья.

Программа визуализации, созданная на основе данных РКТ, имеет большое диагностическое значение и обладает высокой эффективностью процесса визуализации патологических изменений запястья ( $F$ -тест = 0,84;  $p < 0,001$ ), в 2,69 раза превышающей результативность стандартных методов лучевой диагностики за счет эффективной методики трехмерного моделирования, процесса сегментации и выделения отдельных элементов запястья, а также в результате широких лечебно-диагностических возможностей предоперационного планирования ключевых этапов предстоящего реконструктивного оперативного вмешательства при посттравматических деформациях запястья ( $F$ -тест = 1,0,  $p < 0,001$ ).

### Литература

1. Анисимов, В. Н. Хирургия повреждений кистевого сустава / В. Н. Анисимов, А. Б. Строганов, С. А. Лунин. – Н. Новгород: Вектор-Тис, 2003. – 100 с.
2. Computed tomography of suspected scaphoid fractures / L. Adey [et al.] // J. Hand. Surg. – 2007. – Vol. 32-A, N 1. – P. 61–66.
3. FRACAS: A system for computer-aided image-guided long bone fracture surgery / L. Joskowicz [et al.] // J. Comput. Aided Surg. – 1998. – Vol. 3, N 6. – P. 271–288.
4. Computed tomography for triage of suspected scaphoid fractures / J. M. Ty [et al.] // HAND. – 2008. – N 3. – P. 155–158.

5. Способ хирургического лечения аваскулярного некроза полулунной кости: пат. 15614 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) С1 А 61В 17/56 / А. И. Волотовский, Ю. Л. Аликевич, А. П. Беспальчук; заявитель Бел. гос. мед. ун-т. – № а 20090896; заявл. 18.06.2009, зарег. 06.12.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 66.

6. Компьютерное планирование операций на тазобедренном суставе / В. Г. Гончаренко [и др.] // Наука и инновации. – 2008. – № 7. – С. 21–25.

7. Kiefer, H. Orthopilot cup navigation – how to optimise cup positioning? / H. Kiefer // International Orthopaedics. – 2003. – Vol. 27 (Suppl 1). – P. S37–S42.

8. Navigated High Tibial Osteotomy with Vector Vision System / K. W. Cheung [et al.] // Navigation and MIS in Orthopedic Surgery / ed. by J. Stiehl [et al.]. – Berlin: Springer Heidelberg, 2007. – P. 501–507.

**Abstract.** The study is aimed at developing and adopting techniques to diagnose and treat intraarticular injuries of the bones and ligaments of the wrist which provide a 3D visualization of pathologic changes, qualitative evaluation of the results of using computer modeling. An X-ray computed tomography 3D reconstruction model was used to assess the pathologically defected wrist in 123 patients. X-ray computed tomography Dicom-files were used to generate a 3D model in the computer program of visualization in 79 patients with intraarticular injuries of the wrist. A quantitative evaluation of the 3D modeling when carrying out X-ray computed tomography and visualization program showed clear advantages of these techniques when compared to standard methods of X-ray diagnostics ( $\chi^2 = 99.27, p < 0.001$ ) and ( $F\text{-test} = 0.84, p < 0.001$ ) respectively.

**Keywords:** 3D modeling, X-ray computed tomography, wrist, visualization program, scaphoid bone, lunate bone, fracture, avascular necrosis, instability, surgical treatment.

