

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ И РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ ПАТОЛОГИИ ЗАПЯСТЬЯ

A.I. Volotovski

COMPUTERIZED MODELING IN SURGICAL TREATMENT IN DIAGNOSIS AND RECONSTRUCTIVE WRIST SURGERY

УО Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск,
Беларусь УЗ Городская клиническая больница № 6, г. Минск, Беларусь

Предоперационное моделирование с использованием инструментов компьютерной программы визуализации использовано в лечебно-диагностическом процессе у 61 пациента с внутрисуставными повреждениями запястья. В 17 случаях выполнено моделирование основных этапов предстоящего реконструктивного оперативного вмешательства путем виртуальной репозиции отломков или виртуальной корригирующей остеотомии.

Ключевые слова: программа визуализации, рентгеновская компьютерная томография, запястье, ладьевидная кость, полулунная кость, перелом, аваскулярный некроз, хирургическое лечение, моделирование.

Preoperative modeling using the tools of computer visualization program was used in diagnosis process in 61 patients having intra-articular injuries of the wrist. Modeling of main upcoming reconstructive surgery stages through virtual repositioning of bone fragments or virtual corrective osteotomy was performed in 17 cases.

Key words: visualization program, computed tomography, wrist, scaphoid, lunate bone, fracture, avascular necrosis, surgery, modeling.

УДК 617.575-07-089.844:004.94

ВВЕДЕНИЕ

Поиск новых методик диагностики внутрисуставных повреждений костей и связок запястья (ВПКСЗ) в раннем посттравматическом периоде является одним из актуальных направлений научных исследований в области хирургии кисти. Травма запястья в большинстве случаев возникает после падения с опорой на разогнутую под прямым углом кисть и представляет собой изолированное повреждение, не всегда нарушающее функциональную способность опорно-двигательной системы пострадавшего в целом. Анализ рентгенограмм при травмах запястья, даже на фоне типичных клинических проявлений, нередко сопровождается диагностическими ошибками, так как наложение контуров костей запястья на большинстве проекций плоскостных рентгеновских снимков (тангенциальный или суммационный эффект) может приводить к их неправильной интерпретации [1–4]. Эту проблему может решить компьютерная объемная визуализация, которая необходима врачу-клиницисту не только в диагностике, но и при планировании лечебного процесса, в том числе и предполагаемого оперативного вмешательства [5].

Компьютерное моделирование основных этапов хирургической операции с целью подготовки реального вмешательства представляет собой прогрессивное направление современной ортопедии. Объектами операции являются отделы опорно-двигательной системы, имеющие выраженную патологию и требующие хирургической коррекции.

Последовательность действий во время хирургической операции определяется хирургом самостоятельно на основании изучения состояния анатомических объектов по результатам предоперационного планирования, которое до недавнего времени традиционно осуществлялось вручную на скиаграмме, изображении рентгенологических контуров на бумаге.

При этом врач был вынужден вручную задавать анатомические метки, которые указывали расположение и геометрическую форму анатомических структур, участвующих в планировании [6].

Разработка автоматизированных компьютерных систем открыла путь виртуальному планированию всей последовательности действий во время хирургической операции при помощи специальных программных средств на компьютере [7].

Программа визуализации патологии запястья с измерительным модулем и модулем поддержки хирургических операций разработана и внедрена в клиническую практику в 2008–2011 гг. совместными усилиями сотрудников кафедры травматологии и ортопедии Учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет», Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, Республиканского научно-практического центра травматологии и ортопедии и Учреждения здравоохранения «Городская клиническая больница № 6 г. Минска».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В Республиканском центре хирургии кисти 6-й клинической больницы г. Минска в период с 2008 по 2013 гг. специализированная травматолого-ортопедическая помощь оказана 250 пациентам с ВПКСЗ в возрасте от 16 до 70 лет. Мужчин было 220, женщин – 30. В диагностике наиболее сложных деформаций, сопровождающихся нарушением взаимоотношений между костями запястья, использовали разработанную компьютерную Программу визуализации патологии запястья с измерительным модулем, созданную на основе данных рентгеновской компьютерной томографии (РКТ). Программу применили для диагностики и предоперационного планирования у 61 пациента. Компьютерное моделирование предстоящей хирургической реконструкции патологически измененного запястья выполнили 38 пострадавшим, у которых были выявлены переломы костей запястья со смещением преимущественно ладьевидной кости, в 11 случаях диагностированы различные типы нестабильности и в 12 – аваскулярный некроз полулунной кости в различных стадиях патологического процесса.

Первым этапом в создании трехмерной модели является маркировка элементов запястья. При этом каждую отдельную кость или группу костей помечают маркерами соответствующего индекса, за которыми закреплен определенный цвет.

Сгенерированную модель с помощью инструментов программы можно перемещать во всех плоскостях. Все элементы запястья осматривают с разной степенью увеличения. Сегментация и выделение отдельных участков запястья обеспечивают точное пространственное определение вида и степени смещения костных фрагментов, характер деформации суставных поверхностей при нестабильных переломах ладьевидной и других костей, а также позволяют определить направление перемещения отломков по отношению

друг к другу в ходе предстоящей открытой репозиции.

Выделение проксимального ряда костей запястья без лучевой и локтевой костей визуализирует запястный компонент суставной поверхности лучезапястного пространства. Возможность выведения такой проекции дает наиболее эффективную сравнительную оценку взаиморасположения костей данного сегмента запястья, в том числе на тангенциальной проекции со стороны лучезапястного пространства (рис. 1).

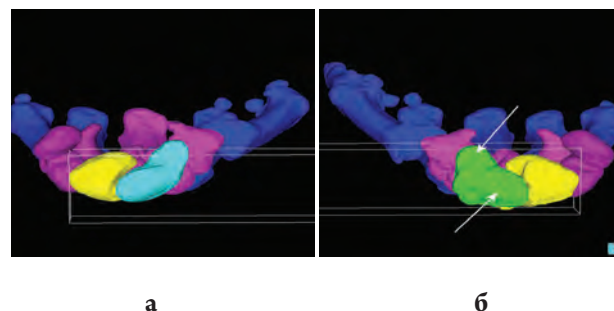


Рис. 1. Сегментация дистального ряда запястья пациента Д., ложный сустав ладьевидной кости левой кисти D2 со смещением: а – вид со стороны лучезапястного сустава здорового запястья; б – вид со стороны лучезапястного сустава поврежденного запястья, ротация кнутри дистального отломка с бугорком (стрелка сверху), ротация кнаружи проксимального отломка (стрелка снизу)

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

Измерения проводили преимущественно в DDR-режиме моделирования рентгеновского снимка (рис. 2), но в ряде случаев использовали и трехмерное объемное изображение.

Диагностирование дополнительных патологических изменений в зоне повреждения в процессе моделирования и сегментации запястья являются основополагающими признаками не столько для формулирования диагноза, сколько для выбора в дальнейшем операционного подхода к патологическому очагу. Полученные данные могут быть использованы в предоперационном планировании, выборе хирургического доступа для полноценной хирургической обработки зоны перелома, определении последовательно-

сти открытой репозиции отломков, направления, расстояния и угла перемещения костных фрагментов.



Рис. 2. Определение длины ладьевидной кости при помощи менеджера измерений между маркерами

Опции измерительного модуля программы также использовали для моделирования этапов предстоящих реконструктивных вмешательств на костях запястья.

Исходя из основных направлений хирургической реконструкции внутрисуставной патологии запястья, были разработаны следующие компьютерные модели: виртуальная корригирующая остеотомия и виртуальная репозиция костных отломков. Мы получили возможность на объемной модели кости или группы костей, сегментированных и отображенных на мониторе компьютера в режиме повторения, отработать хирургический этап определения места, направления и характера предполагаемой остеотомии, а также перемещения костных фрагментов, что впоследствии было реализовано в ходе реальной операции.

На трехмерной модели патологически измененного запястья у 6 пациентов была 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 были определены параметры предполагаемого костного трансплантата.

В 7 случаях поздней стадии аваскулярного некроза полулунной кости были проведены виртуальное удаление полулунной кости и фигурная удлиняющая остеотомия головчатой кости по разработанной нами методике [8].

На 4 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.

Виртуальная остеотомия. Последовательность выполнения этапов корригирующей остеотомии костей запястья была разработана на трехмерной модели аваскулярного некроза полулунной кости с развитием адаптивного коллапса запястья.

Восстановление нормальной линии дистальной суставной поверхности лучезапястного сочленения после удаления разрушенной полулунной кости было реализовано путем выполнения фигурной Г-образной остеотомии головчатой кости и низведения ее проксимального фрагмента на место полулунной.

Вначале осуществляют сегментацию (выделение) костей запястья на изображении. Кости поврежденного запястья отмечают маркерами соответствующего индекса (цвета), причем таким образом, чтобы каждой выделенной кости соответствовал хотя бы один маркер уникального объекта. Далее проводят виртуальное удаление измененной полулунной кости. При помощи инструментов программы, выбирая в контекстном меню «Действия» строку менеджера объемных объектов, ее делают невидимой, т.е. фактически виртуально резецируют. Путем маркировки определяют точки, через которые пройдут плоскости остеотомии. При помощи инструментов программы осуществляют пересечение головчатой кости и перемещают проксимальный фрагмент на место головчатой кости.

Предложенная методика обеспечила эффективную предоперационную подготовку и последующее успешное проведение оперативного вмешательства по разработанному нами способу хирургического лечения аваскулярного некроза полулунной кости, защищенного патентом Республики Беларусь (рис. 3) [8].

Виртуальная репозиция отломков ладьевидной кости. Создание трехмерной модели поврежденного и здорового запястий осуществляют по стандартной методике. Отличительной особенностью подготовительного этапа для моделирования и выполнения репозиции фрагментов сломанной ладьевидной кости является обязательная маркировка каждого отломка разными типами маркеров, что в последующем позволит сделать одного из них уникальным «текущим» объектом и перемещать его по усмотрению врача. Определяют местоположение оси предполагаемого

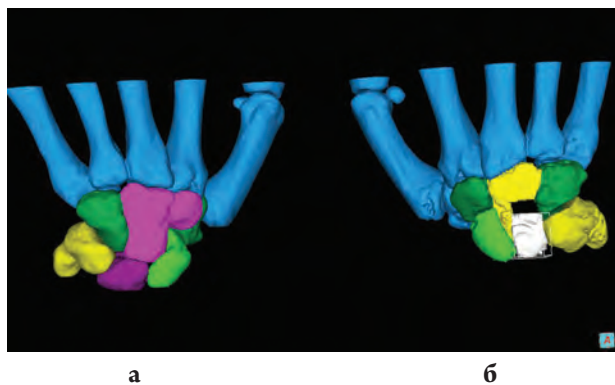


Рис. 3. Конечный результат виртуальной остеотомии головчатой кости: а – модель здорового запястья; б – результат после удаления полулунной кости и виртуальной удлиняющей остеотомии головчатой кости

вращения дистального фрагмента путем создания двух маркеров по краям тыльного края зоны контакта отломков.

Вокруг оси, образованной маркерами при помощи вкладки «Вращение» диалогового окна «Менеджер измерений», проводят перемещение дистального фрагмента на угол, необходимый для восстановления длины поврежденной ладьевидной кости в соответствии с параметрами здоровой верхней конечности. Проведение виртуальной репозиции позволяет до операции четко определить направление и степень перемещения отломков кости, сравнить параметры виртуально восстановленной кости со здоровым запястьем, что сложно осуществить по ходу реальной операции. Это способствует точной отработке этапов предстоящего оперативного вмешательства и определению размеров костного трансплантата для замещения образовавшегося дефекта в межотломковом пространстве (рис. 4).

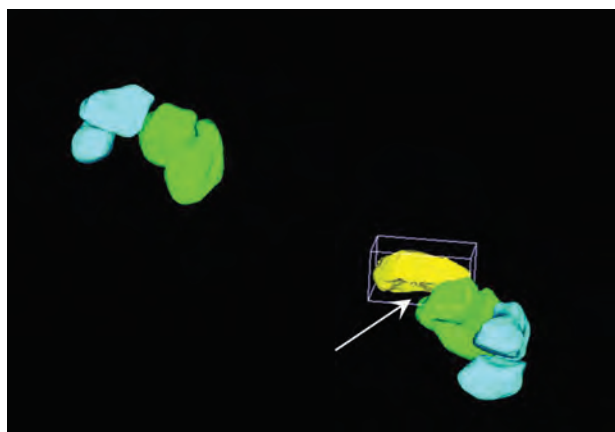


Рис. 4. Виртуальная репозиция смещенных фрагментов ладьевидной кости (образовавшийся дефект костного вещества указан стрелкой)

Результаты моделирования в дальнейшем были использованы при проведении реальных операций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерений и сравнительного анализа параметров поврежденного и здорового запястья пациента отражены в табл. 1 (стр. 36). Анализ полученных результатов показал статистически достоверную зависимость между типом повреждения и определяемыми показателями. Так, в результате измерений медиана длины ладьевидной кости составила на стороне повреждения 28,4 (26,3–29,8) мм, на здоровой конечности – 29,0 (28,2–30,6) мм ($p < 0,05$). В уменьшение длины ладьевидной кости, наблюдавшееся в целом по группе пострадавших, основной вклад внесен показателями пациентов с переломами костей (уменьшение на 0,6 мм) и нестабильностью запястья (уменьшение на 0,3 мм). При аваскулярном некрозе полулунной кости показатели длины ладьевидной кости оставались неизменными по сравнению со здоровой конечностью. Были определены отличия в значениях ЛПУ и ГПУ, которые имели отклонения в сторону увеличения, в первую очередь, у пациентов с аваскулярным некрозом (ЛПУ 70° (58–77), $p < 0,001$) и нестабильностью (ГПУ 15° (4–25,5), $p < 0,01$) по сравнению с группой переломов. Уменьшение высоты полулунной кости наблюдалось в основном в подгруппе пациентов с аваскулярным некрозом. Высота полулунной кости при аваскулярном некрозе была ниже таковой при переломах на 1,2 мм ($p < 0,001$), при нестабильности – на 1,1 мм ($p < 0,05$). В то же время ширина полулунной кости при ее аваскулярном некрозе была больше таковой у пациентов с переломами и нестабильностью на 3,6 мм ($p < 0,001$) и 3,7 мм ($p < 0,01$) соответственно.

Было выявлено статистически достоверное снижение 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 0,04 ($p < 0,001$) и 0,02 ($p < 0,05$) по сравнению с подгруппами пациентов с переломами и нестабильностью соответственно. Величина перемещения одного из фрагментов относительного другого во время виртуальной репозиции или корригирующей остеотомии составила в общем 8,0 (7,3–8,7) мм, при переломах – 7,7 (7,5–8,3) мм, при аваскулярном некрозе – 8,5 (3,2–9,3) мм.

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров запястья по группам патологии, полученных в программе визуализации (Me (25%–75%))

Показатель	Все пациенты n=61	Перелом n=38	Нестабильность n=11	Аваскулярный некроз n=12	Достоверность различий
1	2	3	4	5	7
Длина ладьевидной кости поврежденной кисти, мм	28,4 (26,3–29,82)	29,3 (27,4–31,1)	28,5 (27,5–28,75)	25,3 (24,2–27,1)	$Z_{3-5}=4,01$ $p_{3-5}<0,001$
Длина ладьевидной кости здоровой кисти, мм	29,0 (28,2–30,6)	29,9 (29,0–31,4)	28,8 (28,3–29,01)	25,3 (24,2–27,1)	$Z_{3-5}=5,36$ $p_{3-5}<0,001$
ЛПУ°	48 (40–65)	45 (40–53)	40 (21–55,46)	70 (58–77)	$Z_{3-5}=3,33$ $p_{3-5}<0,001$ $Z_{4-5}=3,32$ $p_{4-5}<0,001$
ГПУ°	4 (2–13)	3 (2–8)	15 (4–25,45)	11 (5–15)	$Z_{3-5}=3,27$ $p_{3-5}<0,01$ $Z_{3-4}=3,08$ $p_{3-4}<0,01$
Высота полулунной кости поврежденной кисти, мм	8,8 (8,5–9,0)	8,9 (8,7–9,0)	8,8 (8,5–8,96)	7,7 (6,8–8,1)	$Z_{3-4}=4,73$ $p_{3-4}<0,001$ $Z_{3-5}=2,70$ $p_{3-5}<0,05$
Ширина полулунной кости поврежденной кисти, мм	17,1 (16,7–17,8)	17,0 (16,7–17,5)	16,9 (16,6–17,4)	20,6 (18,2–22,2)	$Z_{3-5}=4,01$ $p_{3-5}<0,001$ $Z_{4-5}=3,49$ $p_{4-5}<0,01$
Индекс Сталя поврежденной кисти	0,51 (0,50–0,52)	0,52 (0,51–0,53)	0,51 (0,51–0,52)	0,36 (0,30–0,43)	$Z_{3-5}=5,50$ $p_{3-5}<0,001$ $Z_{4-5}=3,26$ $p_{4-5}<0,01$
Высота полулунной кости здоровой кисти, мм	8,9 (8,6–9,0)	8,9 (8,7–9,0)	8,8 (8,5–9,0)	8,7 (8,4–9,1)	–
Ширина полулунной кости здоровой кисти, мм	17,0 (16,5–17,4)	17,0 (16,7–17,5)	16,9 (16,6–17,4)	16,5 (16,2–17,2)	–
Индекс Сталя здоровой кисти	0,52 (0,51–0,53)	0,52 (0,51–0,53)	0,51 (0,51–0,52)	0,52 (0,52–0,53)	–
Показатель высоты поврежденного запястья, L_1 , см	3,6 (3,4–3,8)	3,7 (3,6–3,8)	3,6 (3,3–3,9)	3,4 (3,3–3,4)	$Z_{3-5}=4,03$ $p_{3-5}<0,001$
Показатель высоты пясти поврежденной кисти, L_2 , см	6,9 (6,9–7,2)	6,9 (6,8–7,3)	7,1 (6,9–7,4)	6,9 (6,9–7,0)	–
ЗПК поврежденной кисти	0,52 (0,49–0,53)	0,52 (0,51–0,54)	0,50 (0,47–0,52)	0,48 (0,47–0,50)	$Z_{3-5}=4,39$ $p_{3-5}<0,001$ $Z_{3-4}=2,41$ $p_{3-4}<0,05$
Показатель высоты здорового запястья, L_1' , см	3,7 (3,6–3,9)	3,7 (3,6–3,9)	3,8 (3,6–3,9)	3,7 (3,5–3,8)	–
Показатель высоты пясти здоровой кисти, L_2' , см	6,9 (6,9–7,2)	6,9 (6,8–7,3)	7,1 (6,9–7,4)	6,9 (6,9–7,0)	–
ЗПК здоровой кисти	0,53 (0,52–0,54)	0,53 (0,52–0,54)	0,53 (0,52–0,54)	0,52 (0,51–0,54)	–
Виртуальное перемещение, мм	8,0 (7,3–8,7)	7,7 (7,5–8,3)	–	8,5 (3,2–9,3)	–

Примечание 1: Z– критерий сравнения показателя между соответствующими клиническими группами пациентов.

Примечание 2: p_{3-5} – достоверность различия показателя между соответствующими клиническими группами пациентов.

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. Полученные результаты отражены в табл. 2.

Таблица 2
Качественная оценка эффективности
визуализации патологических изменений
запястья инструментами программы
визуализации и методами лучевой диагностики

Критерий	Количество случаев выявления признака повреждения	
	Положительный	Отрицательный
Визуализация при помощи инструментов программы	60	1
Визуализация методами лучевой диагностики	29	32

Анализ полученных результатов продемонстрировал высокую эффективность процесса визуализации патологических изменений запястья в программе визуализации (F-тест = 0,79; $p < 0,001$), при этом показатели качества составили следующие значения: Ч = 0,98; С = 0,52; ПЦПР = 0,67; ПЦОР = 0,97; ОП (LR) = 2,07.

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.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В программе визуализации, созданной на основе данных РКТ, впервые проведен осмотр костей запястья со стороны лучезапястного и среднезапястного пространств после виртуального удаления при помощи инструментов программы проксимально или дистально расположенных участков предплечья и кисти.

Визуальная оценка степени деформации суставной поверхности головчато-ладьевидно-полулунного сочленения, «невидимого» для врача при других методах обследования, оптимизирует процесс оценки степени смещения отломков при планировании этапов реконструкции посттравматических изменений, что также демонстрирует высокую эффективность по сравнению с другими методами обследования и качественно новый уровень диагностического этапа в оказании специализированной травматолого-ортопедической помощи.

Программа визуализации имеет большое диагностическое значение и обладает высокой эффективностью процесса визуализации патологических изменений запястья (F-тест = 0,79; $p < 0,001$), в 2,07 раза превышающую результативность стандартных лучевых методов рентгенографии и РКТ.

Впервые с использованием программы визуализации проведено предоперационное моделирование и планирование этапов оперативных вмешательств на запястье реконструктивного характера, связанных с устранением деформации кости после перелома или посттравматического аваскулярного некроза, осуществленное путем остеотомии и перемещения фрагментов костей запястья.

Методика виртуальной (с помощью компьютерной визуализации) репозиции отломков при застарелых переломах и ложных суставах ладьевидной кости позволяет четко отработать этапы оперативного вмешательства и определить величину перемещения костных отломков для устранения углового и ротационного смещений, а также длину предполагаемого костного трансплантата, необходимого для восполнения возникшего дефекта кости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов В.Н., Строганов А.Б., Лунин С.А. Хирургия повреждений кистевого сустава. Нижний Новгород: «Вектор-Тис», 2003. – 100 с.

2. Васильев А.Ю., Буковская Ю.В. Лучевая диагностика повреждений лучезапястного сустава и кисти – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 168 с.
3. Shin A.Y. et al. Acute coronal plane scaphoid fracture and scapholunate dissociation from an axial load: A case report // J Hand Surg. – 2005. Vol. 30A. – № 2. – P. 366–373.
4. Adey L. et al. Computed Tomography of Suspected Scaphoid Fractures // J. Hand Surgery. – 2007. – Vol. 32A. – № 1. – P. 61–65.
5. Гончаренко В.Г., Архипов В.И., Волотовский А.И., Михнович Е.Р. Виртуальное планирование остеотомии головчатой кости запястья // Актуальные проблемы медицины : сб. науч. статей Республ. науч.-практ. конф. и итоги науч. сессии Гомельского гос. мед. ун-та. Т. 1. – Гомель, 2010. – С. 173–176.
6. Гончаренко В.Г. и др. Компьютерное планирование операций на тазобедренном суставе. // Наука и инновации. – 2008. – № 7. – С. 21–25.
7. Joskowicz L. et al. FRACAS: A system for computer-aided image-guided long bone fracture surgery // J Comput Aided Surg. – 1998. – Vol. 3. – № 6. – P. 271–288.
8. Способ хирургического лечения аваскулярного некроза полулунной кости: пат. 15614 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) C1 A 61B 17/56/ Волотовский А.И., Аликевич Ю.Л., Беспальчук А.П.; заявитель Бел. гос. мед. ун-т. № а 20090896; заявл. 18.06.2009, зарегистр. 06.12.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 66.

REFERENCES

1. Anisimov V.N., Stroganov A.B., Lounin S.A. Surgery of hand joint injuries. Nizhnii Novgorod, Vector-Tis Publ., 2003. 100 p. (in Russian).
2. Vassilyev A. Yu., Boukovskaya Yu.V. Radial diagnosis of radiocarpal articulation and hand. Moscow, Geotar-Media Publ., 2008. 168 p. (in Russian).
3. Shin A.Y. et al. Acute coronal plane scaphoid fracture and scapholunate dissociation from an axial load: A case report // J Hand Surg. – 2005. Vol. 30A – № 2. – P. 366–373.
4. Adey L. et al. Computed Tomography of Suspected Scaphoid Fractures // J. Hand Surgery. – 2007. – Vol. 32A. – № 1. – P. 61–65.
5. Goncharenko V.G., Arkhipov V.I., Volotovskii A.I., Mikhnovich Ye.P. Virtual planning of the wrist capitate bone osteotomy. Actual problems of medicine. Scientific articles of the Republican scientific-practical conference and results of scientific session of the Gomel' Scientific Medical University. Vol. 1. Gomel', 2010. p. 173–176 (in Russian).
6. Goncharenko V.G. et al. Computer planning of the surgeries on the hip joint. Science and innovations, 2008, № 7, p. 21–25 (in Russian).
7. L. Joskowicz et al. FRACAS: A system for computer-aided image-guided long bone fracture surgery // J Comput Aided Surg. – 1998. – Vol. 3 – № 6. – P. 271–288.
8. Method of surgical treatment of avascular semilunar bone necrosis: Patent 15614 Belarus Republic, МПК (2006.01) C1 A 61B 17/56/ Volotovskii A.I., Alikevich Yu.L., Bepaltchuk A.P. Declarant: the Belarus' State Medical University. № а 20090896; claimed 18.06.2009, registered 06.12.2011 // Official Bull. of National Center of Intellectual Property, 2012, № 2, p. 66 (in Belorussian).

Поступила в редакцию 17.03.2014
Утверждена к печати 20.05.2014

Авторы:

Волотовский Алексей Игоревич – канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии УО Белорусский государственный медицинский университет, УЗ Городская клиническая больница № 6, г. Минск, Беларусь.

Контакты:

Волотовский Алексей Игоревич

тел. раб.: (+37517)-272-61-02 тел. моб.: (+37529)-779-05-82

e-mail: aleksei_volotovs@mail.ru