

УДК 617.581.004.94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© О.Н. Ямщиков

Ключевые слова: компьютерное моделирование; модель кости; остеосинтез.

В статье приводится обзор существующих методов компьютерного моделирования в травматологии и ортопедии. Дается их характеристика, оценка развития и перспективы использования компьютерного моделирования в травматологии и ортопедии.

Цель исследования: провести анализ существующих методов компьютерного моделирования в медицине. Определить тенденции и перспективы использования компьютерного моделирования в травматологии и ортопедии.

Существуют различные варианты применения компьютерного моделирования в медицине. Известны различные методики в моделировании травматологических и операционных процессов.

В случае, когда процесс не может быть формализован, для его описания используют системы искусственного интеллекта. К таким системам относят экспертные системы (ЭС) и нейронные сети. Нейронные сети являются гибким и мощным методом представления процессов и явлений. Основу нейронных сетей составляют простые, чаще однотипные элементы или ячейки, симулирующие слаженную работу нейронов головного мозга [1–6]. Они обобщают в себе опыт и знания человека, мощность и быстродействие вычислительной машины и позволяют при определенном количестве вводимых в систему данных при решении поставленной задачи выдавать и обосновывать это решение. ЭС формулируют советы, проводят анализ, классифицируют, ставят диагноз. Самой известной диагностической системой по общепринятому мнению является система MYCIN [7–8].

В современных условиях в результате развития вычислительной техники моделирование травматологических и операционных процессов, поддающихся формализации, производится методами компьютерного моделирования на основе математических моделей исследуемых процессов.

Метод конечных разностей (МКР) известен широко и представляет собой простейший метод интерполяции. Суть метода заключается в замене дифференциальных коэффициентов уравнения на разностные коэффициенты. Это позволяет свести решение дифференциального уравнения к решению его разностного аналога, построить его конечно-разностную схему.

К достоинствам метода можно отнести простоту и быстроту реализации, к недостаткам относится невозможность применения данного метода в решении задач в областях со сложными границами, необходимость в переписывании кода программы при изменениях в постановке задачи.

Возникновение метода конечных элементов (МКЭ) связано с проведением космических исследований в 1950-х гг. Идея МКЭ была разработана советскими учеными в 1936 г., однако широкого распространения не получила. Важный вклад в теоретическую разработку метода внес в 1963 г. Дж. Меллош, показав, что метод конечных элементов можно рассматривать как один из вариантов метода Рунге–Кутты. Метод приближенного решения краевой задачи для дифференциального уравнения был разработан Б.Г. Галеркиным в 1915 г. При применении этого метода возможно исключить необходимость вариационной формулировки физической задачи. Это позволяет применять метод конечных элементов при решении любых дифференциальных уравнений.

Основным преимуществом метода конечных элементов является универсальность. Универсальность метода подтверждается его использованием в современных конечно-элементных программах, например, ANSYS [9–16].

Компьютерные модели на основе математических моделей процессов способны в той или иной мере описать механику работы различных частей человеческого организма, в т. ч. бедренной кости. Также они могут описать, каким образом, например, заменена головка бедренной кости на искусственную и как это повлияет на функцию кости и сустава в целом. Однако важнее всего то, что компьютерное моделирование позволяет избежать проведения экспериментов на людях.

Для создания виртуальных моделей различных органов М.П. Бурых, Р.С. Ворожук применяли метод вексельного анатомического моделирования. Ими разработан компьютерный комплекс Virtual Anatomist, который позволяет создать трехмерные компьютерные анатомические модели на основе изображений плоскопараллельных срезов. Результат метода заключается в создании цифровой трехмерной матрицы, единичный элемент которой – воксель. Основным преимуществом данного метода, в отличие от применявшегося ранее трехмерного моделирования поверхностей органов, является то, что вексельная анатомическая модель содержит информацию о структуре всего органа и реалистично отображает индивидуальные анатомические особенности тела человека [7].

Для биологии и медицины разработано множество компьютерных программ, использующих изображения внутренних органов, сосудов, нервов и др. Компьютерные модели, используемые в пакетах, обычно двухмерные, но бывают и трехмерные реконструкции. Последние содержат такие программы, как 3D-Body Adventure (США), Advantage Windows (США), ADAM (Великобритания), Corps Human (Франция). Широко известна программа Body Voyage (США), созданная в рамках Visible Human Project (США). Важно, что компьютерные модели, созданные в результате морфометрии и анализа анатомического материала, являются научно обоснованными. Модели могут иллюстрировать анатомическую норму, т. к. созданы на основе количественных данных множества наблюдений.

В литературе существуют данные по созданию виртуальных трехмерных моделей внутренних органов человека на основе серий двухмерных срезов. Наиболее известные международные проекты: Visible Human Project (США), Voxel MAN (Germany), Chinese Visible Human Project (Китай) [17–18].

Компьютерная анатомия, отражающая трехмерное анатомическое строение, использована для разработки системы виртуального моделирования операций с позиции анатомического и технического обоснования [19]. Трехмерное моделирование позволяет проводить измерения углов, длин и диаметров различных анатомических образований в исходном состоянии и при пространственных трансформациях. Это имеет существенное значение в оценке возможности реализации реконструктивных операций, в определении наиболее правильного метода операции.

Разработанные трехмерные компьютерные модели позволяют проводить структурный графический анализ строения органов, определять закономерности вариантов их строения. Выявление закономерностей и вариантов строения органов позволяет определять наиболее правильную технику для операций, исходя из конкретной, а не усредненной пространственной конфигурации.

Компьютерные модели, созданные с применением системы DUCT5, используются в процессе последипломного обучения врачей. Тестирование показало, что эффективность использования компьютерной анатомии в обучении в 2,5 раза выше, чем традиционных средств. Расширились возможности использования данных разработок в медицинских учреждениях с выходом обновленных версий трехмерного моделирования фирмы Delcam pic PowerSHAPE. Стало возможным использование стандартной персональной компьютера с операционной системой Microsoft Windows; графический интерфейс пользователя основан на технологии интеллектуального курсора; есть возможность обмена данными с внешними приложениями через OLE-интерфейс и непосредственного ввода трехмерных данных с помощью координатно-измерительного манипулятора и т. д.

Возможности современных компьютеров и программного обеспечения позволяют совершенствовать уже существующие виртуальные модели, дополнять созданный объемный остов компьютерными моделями других органов на основе полученных при морфологических и клинко-инструментальных исследованиях данных. Ценным методом является рентгенологический, т. к. он доступный и бескровный и является носителем прижизненной анатомической информации. Морфометрия разноплоскостных гистотопограмм изу-

чаемых анатомических структур дает достоверные данные для объемной компьютерной реконструкции области предполагаемого оперативного вмешательства.

Решение этих задач является эффективным способом улучшения точности предоперационной диагностики и качества хирургических операций.

Анатомическое моделирование является перспективным в изучении топографической анатомии внутренних органов человека. Созданные на его основе виртуальные анатомические модели могут быть использованы в планировании и имитировании хирургических операций.

Компьютерные модели могут служить не только наглядным примером в учебном процессе, но и использоваться в научных анатомических исследованиях. Несомненно дальнейшая перспективность трехмерного моделирования для оценки нормальной и патологической анатомии у конкретного больного, прогнозирования хирургического вмешательства, возможных осложнений и возможностей их предотвращения.

На протяжении развития травматологии как науки вопросы лечения переломов костей конечностей оставались актуальными. Сложности в правильной постановке диагноза при травмах костно-суставной системы могут сохраняться, несмотря на большие диагностические возможности рентгенологических методов. Врачу необходимы как знания анатомии тела человека, так и понимание пространственных взаимоотношений костных и мягкотканых элементов при травматических повреждениях. Прогрессивное направление в лечении больных с переломами костей связано с разработками новых методик применения компьютерного моделирования, визуализации зоны перелома, проведении виртуальных операций остеосинтеза на фоне комплексного лечения травм [20–21]. Уже созданы, развиваются и внедряются в практику компьютерные программы, позволяющие моделировать исправление деформаций конечностей, определять оптимальный уровень остеотомии, моделировать как оперативное вмешательство, так и послеоперационное ведение больного [22–25]. Однако эти методики разработаны недостаточно и применимы в основном для коррекции диспластических деформаций позвоночного столба и конечностей в плановом порядке.

Известны аппаратно-программные комплексы, такие как «Остеокинез» [23], «Leg Perfect» [26], «Нейронное зрение» [27–29], «ДиаМорф» [30], предназначенные для планового обследования пациентов на предмет выявления степени выраженности и характера деформации костей [31], определения уровня остеотомии, моделировании трансформации и удлинения сегмента конечности [32–33], подборки оптимальной компоновки аппаратов внешней фиксации [32], определения характеристик костного регенерата [34–35] и процессов остеорепаляции [36–37], риска развития остеопороза [38] и рефрактур [39–40], моделирования посттравматической нестабильности в суставах [41] и т. д. Существенный вклад в диагностику и выработку тактики лечения вносят методы интенсивно развивающейся телемедицины [42–47].

Распространение компьютеров дало возможность развиваться новым технологиям, дающим преимущества в оперативности, наглядности, информативности и доступности [48]. Большинство из них базируются на принципе цифровой обработки информации с помощью специальных программ.

В РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова разработаны и применяются программы, позволяющие по двум стандартным проекциям рентгенограмм рассчитывать и анализировать изображенную на дисплее пространственную модель деформации сегмента конечности в целом и при заданной величине ротации; создать пространственную модель кости до и после оперативной коррекции. Разработанная программа позволяет определить величину остаточной кривизны, которая возникает при поочередном представлении каждого из заданных уровней остеотомии. В результате расчетов представляется информация о номере и координатах точки, оптимальном уровне остеотомии, направлении остеотомии и величине distraction при создании клиновидного регенерата [23].

Тем же целям служит программа «Leg Perfect», разработанная в США. С ее помощью можно выбирать оптимальный уровень остеотомии для исправления различных видов деформаций и дефектов костей с удлинением конечности или без него [26; 49]. Этими же разработчиками создана интерактивная база данных для лечения пациентов по методу Г.А. Илизарова.

Для улучшения результатов лечения методом чрескостного остеосинтеза создана компьютерная программа «Остеокинез». Данная программа позволяет моделировать различные варианты постепенного дозированного устранения смещений отломков костей, проводить коррекцию деформаций костей, выбирать оптимальный вариант для устранения смещения, подобрать необходимую компоновку аппарата внешней фиксации, установить координаты расположения узлов, плоскости взаимного смещения опор, величины резьбовых стержней, находящихся между опорами. Метод успешно применяется для лечения пациентов с ложными суставами и деформациями костей конечностей. Для компьютерного планирования в предоперационном периоде исправления посттравматических деформаций лучевой кости создана трехмерная модель деформации (по сравнению со здоровой конечностью) с определением оптимального уровня остеотомии, ее вида и направления плоскости остеотомии. Аналогично проводится трехмерное моделирование операции остеосинтеза для проведения оптимальной установки компрессионных винтов других металлоконструкций для остеосинтеза переломов шейки бедренной кости. Есть данные об успешном использовании компьютерных программ, позволяющих производить остеотомию и устранение сложных угловых деформаций проксимального отдела бедренной кости, костей голени. Эти программы позволяют визуально и в цифровом режиме оценивать дооперационное и послеоперационное изображение сегмента конечности.

Цифровое моделирование применяется при репозиции и удлинении фаланг пальцев и пястных костей [50]. Предложены компьютерные программы, моделирующие удлинение нижних конечностей с переменными значениями distraction, при которых структура костного регенерата и окружающих мягких тканей приближается к структуре при естественном росте. Модели помогают рассчитывать необходимые сроки distraction и оценить влияние физической нагрузки на процесс регенерации [51].

В последние годы интенсивно развиваются навигационные технологии, робототехника и дистанционное управление в травматологии и ортопедии. Они занимают важное место в планировании и выполнении раз-

личных оперативных вмешательств. Согласно этим технологиям выполняются транспедикулярные фиксации позвоночника, артроскопические операции и др. [34; 52–53].

Существует метод цифровой обработки видеоинформации и компьютерного моделирования операции остеосинтеза при переломах трубчатых костей конечностей [48]. Основная идея метода заключается в переводе в цифровой формат стандартных рентгенограмм, обработке полученных сканограмм математически. На основании полученных данных проводится моделирование репозиции отломков в двухмерной плоскости в каждой из проекций. Этапы моделирования сохраняются в памяти компьютера в виде изображения модели и данных, отражающих перемещение виртуальных фрагментов костей в миллиметрах и градусах. Полное виртуальное сопоставление отломков достигается поэтапно. В результате моделирования врачу-травматологу еще до проведения самой операции представляется алгоритм действий на операции, с указанием величин всех репозиционных смещений. Четко придерживаясь последовательности и амплитуды манипуляций, хирург реализует указания во время проведения операции. Применение данной технологии позволяет качественным образом улучшать клинические и функциональные результаты у пострадавших с переломами костей конечностей, что подтверждено клиническими и физическими методами [54–62].

Вторичная цифровая обработка рентгенографического изображения занимает в медицине отдельный сегмент и применяется в травматологии, ортопедии, ангиологии, кардиологии, пульмонологии и др. Перевод рентгенограмм в цифровой формат и математическая обработка полученной информации применяется в программно реализуемом способе моделирования операции внеочагового чрескостного остеосинтеза в комплексном лечении костей конечностей [61].

Для компьютерной обработки рентгенограмм и определения пространственных взаимоотношений при эндопротезировании тазобедренного сустава разработан метод, при котором рентгенограммы сканируются в стандартном режиме, после чего производится наложение виртуальной линейки на сканограмму для измерения требуемых величин [53].

За последние годы созданы и широко внедряются автоматизированные системы обработки изображений. Они позволяют на новом, более высоком уровне проводить анализ микро- и макроизображений, получать дополнительные характеристики органов и тканей [63–65].

Множество работ связано с применением видеоденситометрии, радиографической абсорбциометрии, компьютерной радиографии и морфометрии, определением прочности костной ткани, прогнозированием и профилактикой остеопорозных изменений с помощью компьютерных технологий [64–67].

В современных условиях благодаря появлению 3D графики значительно увеличилось возможности компьютерной диагностики в медицине. Широко представлен в печати, особенно в США, ряд проектов по 3D анатомии. Один из таких проектов – база данных «Видимый человек» (Visible Human Project) Национальной библиотеки медицины, которая состоит из 1840 3D MR изображений и изображений криосечений мужчин и женщин. Вместе с этим осуществляется и ряд проектов, основывающихся на 3D моделировании органов и тканей человека. Такие проекты, как «The Interactive

Knee v1.0», «The Interactive Hand v1.0 Anatomy Edition», являются хорошим пособием по визуализации и изучению трехмерной анатомии кисти, коленного сустава. Существует возможность перемещения, поворота моделей, увеличения масштаба, наращивания ткани от костей до кожи, получения подробной информации о выделенных и отсепаарованных участках ткани. Моделирование сопровождается интраоперационными и артроскопическими видеороликами, демонстрацией КТ и МРТ-срезов. Во многих учебных медицинских учреждениях уже созданы виртуальные операционные, в которых как изучается анатомия, так и имитируются операции в интерактивном режиме. Также существует ряд коммерческих проектов, таких как «Virtual Anatomy Lab». Разработчики этих продуктов предлагают платные иллюстрации, виртуальные модели отдельных органов и систем человека, интерактивные обучающие программы, практикуется также создание моделей для презентаций.

Применение 3D моделей часто помогает решению многих задач в клинических условиях, таких как предоперационное планирование в хирургии, когда необходимо знать 3D структуру органа, видеть его дефекты и особенности, иметь возможность смоделировать окончательный клинический и функциональный результат. Опыт показывает, что «умозрительное представление» анатомических объектов по изображениям их сечений трудно и сильно зависит от опыта исследователя. В таких случаях есть необходимость представить проблему в различных пространственных аспектах.

К важным преимуществам 3D моделей является возможность цветового контрастирования объектов и тканей и получения их срезов, что расширяет пространственное представление о топографии изучаемого органа или сегмента.

Применение компьютерного моделирования в операциях с использованием чрескостного остеосинтеза аппаратами внешней фиксации при острой травме костей конечностей исследовалось в ряде работ [54–60; 68–69]. Разработка трехмерного моделирования чрескостного остеосинтеза при переломах длинных костей позволяет оптимизировать методику лечения, улучшить результаты лечения.

Таким образом, на основе проведенного анализа литературы и патентных исследований можно сделать вывод о наличии положительной тенденции и роста уровня применения компьютерного моделирования в травматологии и ортопедии. Имеется значительный рост использования компьютерного моделирования с применением биомеханических исследований. В данной области науки неоспоримо лидерство японских и китайских разработок. Также уверенное развитие данной области наблюдается в США и Европе. В России имеется значительное количество разработок с достаточно глубоким изучением биомеханических свойств кости в норме и патологии. Вместе с тем использование методов математического и компьютерного моделирования в нашей стране эпизодично. В зарубежных странах большинство исследований производится с помощью применения компьютерного моделирования, что положительным образом сказывается на результатах исследований. Создаются программные комплексы, позволяющие работать и обучаться по принципу «медицины без пациентов», что уменьшает количество ошибок, осложнений в практике, позволяет улучшать качество лечения. В России уровень развития компью-

терного моделирования в травматологии и ортопедии невысок. Результатом этого можно считать сохраняющийся достаточно высоким процент осложнений в послеоперационном периоде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусин. М.: Кафедра САПР в строительстве МГСУ МИСИ, 2009. URL: <http://sapr.mgsu.ru/biblio/ex-syst/Glava3/Index1.htm>. Загл. с экрана.
2. Тейлор К. Как построить свою экспертную систему / пер. с англ. Н.Н. Слепова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 286 с.
3. Сафонов В.О. Экспертные системы – интеллектуальные помощники специалистов. СПб.: Санкт-Петербургская организация общества «Знания» России, 1992.
4. Теодоридис К.А. О состоянии дорожной безопасности в странах Евросоюза // Вестник травматологии и ортопедии им. Приорова. 1998. № 3. С. 48–53.
5. Убейко В.Н. Экспертные системы. М.: МАИ, 1992.
6. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388 с.
7. Бурых М.П., Ворощук Р.С. Воксельное анатомическое моделирование внутренних органов человека // Клиническая анатомия и оперативная хирургия. 2006. Т. 5. № 5. С. 115–118.
8. Mycin. Wikipedia the free encyclopedia. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mycin> (дата обращения: 13.07.2014).
9. Release 11.0 documentation for ANSYS. ANSYS, Inc., 2006. URL: <http://kxscad.net/ansys/ANSYS/ansyshelp/ansys.set.html>. Загл. с экрана.
10. Comsol multiphysics modeling guide. 2006. 362 p.
11. Abaqus Инженерные программы // ТЕСИС. М.: ТЕСИС, 2006. URL: <http://vwwv.thesis.com.ru/software/abaqus>. Загл. с экрана.
12. Bathe K.J. Finite element procedures. Prentice Hall, Pearson education. Inc., 2006. 1037 p.
13. MSC software corporation. 2 MacArthur Place: MSC software corporation, 2009. URL: <http://www.mscsoftware.com/>. Загл. с экрана.
14. Программный комплекс ЛИРА 9.6. Мономах 4.5 Системы автоматизированного проектирования и расчета зданий. М.: ООО «Лира сервис», 2009. URL: <http://www.rflira.ru/>. Загл. с экрана.
15. CFD flow modeling software and solutions from Fluent. Ann Arbor: Fluent Inc., 2009. URL: <http://www.fluent.com/>. Загл. с экрана.
16. LS-DYNA результаты расчетов, учебные курсы, новости. СПб.: Лаборатория «Вычислительная механика» СПбГПУ (CompMechLab), 2009. URL: <http://www.ls-dyna.ru/>. Загл. с экрана.
17. Lamad W., Glombitz G., Demiris M.A. et al. Virtuelle Operationsplanung in der Leberchirurgie // Chirurg. 1999. V. 70. P. 239–245.
18. Ohkava M. et al. The role of three-dimensional computer tomography in the management of maxillofacial bone fractures // Acta Med. Okayama. 1997. V. 51. № 4. P. 219–225.
19. Симбирцев С., Стрельченя В., Лойт Л., Трунин Е., Лебедев Л., Кулаков Л. Трехмерное моделирование строения человека и оперативных вмешательств с помощью системы DUCT5 // САПР и графика. 2000. № 3.
20. Баринев А.С., Егоров М.Ф., Тетерин О.Г. и др. Дистанционное компьютерное моделирование результатов косметических операций по увеличению роста // Гений ортопедии. 2000. № 2. С. 83.
21. Аранович А.М., Ключин Н.М., Десятниченко К.С., Тимофеев В.Н. Управляемый чрескостный остеосинтез в лечении больных с хроническим остеомиелитом // Гений ортопедии. 1999. № 1. С. 88–94.
22. Абдуев В.Б. Программированно отсеченный остеосинтез при лечении сложных закрытых диафизарных переломов длинных костей // Человек и его здоровье: тез. докл. междунар. конгр. СПб., 1997. С. 4.
23. Дьячкова Г.В., Михайлов Е.С., Ерофеев С.А. и др. Качественные и количественные показатели рентгенологической оценки distractionного регенерата // Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 11–15.
24. Кирсанов В.Л. // Современные технологии в травматологии и ортопедии: сб. тез. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2005. С. 325.
25. Таунсенд К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / пер. с англ. В.Л. Кондратенко, С.В. Трубицына, К. Таунсенд, Д. Фохт. М.: Финансы и статистика, 1990. 320 с.
26. Рубашева А.К. Частная рентгенодиагностика заболеваний костей и суставов. Киев, 1961. 463 с.
27. Анисимова Л.О., Кормильченко В.В., Медведев Л.П. Использование современных методов для оценки состояния костной ткани // Человек и его здоровье: тез. докл. междунар. конгр. СПб., 1997. С. 6.
28. Анисимова Л.О., Кормильченко В.В., Редька К.Г. Опыт использования компьютерной морфометрии при анализе патологии опорно-двигательной системы // Материалы 6 съезда травматологов-ортопедов России. Н. Новгород, 1997. С. 631.

29. Анисимова Л.О., Кормильченко В.В., Медведев Л.П. Оценка состояния костной ткани методом компьютерной морфометрии у больных с патологией опорно-двигательной системы // Человек и его здоровье: тез. докл. междунар. конгр. СПб., 1997. С. 7.
30. Анкин Л.Н., Никитин П.В., Король С.А. Предупреждение осложнений при хирургическом лечении открытых переломов // Современные медицинские технологии и перспективы развития военной травматологии и ортопедии: тез. докл. науч. конф. СПб., 2000. С. 150-151.
31. Третьяков В.В. Использование нейронносетового моделирования в диагностике хронической посттравматической нестабильности коленного сустава у спортсменов // Моделирование в медицинских и биологических исследованиях: сб. науч. тр. Самара, 1999. С. 302-304.
32. Тетерин О.Г., Егоров М.Ф., Некрасов М.С. и др. Оптимизация чрескостного остеосинтеза путем использования современных компьютерных технологий // Вопросы реконструктивной и восстановительной хирургии. 2001. № 1. С. 63-65.
33. Ортега Дж. Введение и параллельные и векторные методы решения линейных систем. М.: Мир, 1991.
34. Гончаров М.Ю., Войтович Л.В., Шубняков И.И. и др. Метод компьютерной обработки рентгенограмм для определения пространственных взаимоотношений при эндопротезировании тазобедренного сустава // Материалы 13 науч.-практ. конф. SICOT. СПб., 2002. С. 32-33.
35. Рабухина Н.А., Голубева Г.И., Перфильев С.А. Об использовании компьютерной реконструкции изображений при некоторых патологических изменениях челюстно-лицевой области // Вестник рентгенологии и радиологии. 2002. № 3. С. 51-53.
36. Архипов Г.К., Ходосевич Н.И., Грачева В.И. Математическое моделирование в решении некоторых задач чрескостного остеосинтеза по Г.А. Илизарову // Тр. РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова. Курган, 1986. Вып. 11. С. 158-160.
37. Носов А.Л. Педагогические аспекты клинко-рентгенологических исследований при оказании медицинской помощи раненым и больным травматологического профиля // Актуальные вопросы лучевой диагностики в травматологии, ортопедии и смежных дисциплинах: материалы Всерос. конф. Курган, 2003. С. 117-119.
38. Габуния Р.И., Колесникова Е.К. Компьютерная томография в клинической диагностике. М.: Медицина, 1995. 352 с.
39. Краснов Д.Ф., Котельников Г.П., Бабинова М.И., Складчиков Ю.М. 30-летний опыт лечения травматолого-ортопедических больных методом Илизарова // Гений ортопедии. 1996. № 2-3. С. 27-30.
40. Волков, Г.П., Тарасова Е.И. Характеристика микроциркуляции в прогнозе заживления переломов костей конечностей // Актуальные вопросы лучевой диагностики в травматологии, ортопедии и смежных дисциплинах: материалы Всерос. конф. Курган, 2003. С. 29-30.
41. Слободской А.Б., Барабаш А.П., Попов А.Ю., Кирсанов В.А. Мини-аппараты внешней фиксации при лечении переломов лучевой кости в нижней трети // Современные технологии в травматологии и ортопедии: сб. тез. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2005. С. 326.
42. Бозиновский С. Компьютерная программа для оценки лечения псевдоартрозов и дефектов костей // Новые технологии в медицине: тез. докл. науч.-практ. конф. Курган, 2000. С. 215-216.
43. Кишковский А.Н. Методика и техника электрорентгенографии. М.: Медицина, 1982. 208 с.
44. Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология. М.: Медицина, 2000. 672 с.
45. Пчелин И.Г., Ковачев В.И., Лотов В.Г., Трущенко С.Г. Компьютерно-томографическая диагностика повреждений вертлужной впадины у пострадавших с политравмой // Материалы Всеарм. науч. конф. СПб., 2000. С. 103-104.
46. Соломин Л.П., Барабаш А.Н. Пути обеспечения стабильности фиксации костных фрагментов и функциональности проводимого лечения при управляемом комбинированном остеосинтезе // Современные медицинские технологии и перспективы развития военной травматологии и ортопедии: тез. докл. науч. конф. СПб., 2000. С. 167.
47. Соломин Л.П., Долгополов В.В., Назаров В.А. Через разрешение противоречий чрескостного остеосинтеза к его совершенствованию // Новые технологии в медицине: тез. докл. науч.-практ. конф. Курган, 2000. С. 61-62.
48. Слободской А.Б., Барабаш А.П., Попов А.Ю., Кирсанов В.А. Трехмерное моделирование операции чрескостного остеосинтеза при переломах ключицы, трубчатых костей кисти и стопы // Современные технологии в травматологии и ортопедии: сб. тез. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2005. С. 327.
49. Юрченко В.Е., Быбеньшев Л.Ю. Эффективность КТ при оказании помощи пострадавшим с боевой травмой // Актуальные вопросы лучевой диагностики заболеваний и повреждений у военнослужащих: сб. ст. науч. сес. СПб., 2001. С. 168.
50. Черкашин А.М., Самчуков М.Л., Берч Д.Г. Интерактивная база данных лечения по Илизарову и профилактика осложнений // Гений ортопедии. 1996. № 2-3. С. 80.
51. Ткачева Л.В., Сафонова Л.В., Бейдик О.В. Комплексный подход к моделированию систем внешней фиксации при лечении переломов опорно-двигательного аппарата методом остеосинтеза // Технологии живых систем. М., 2006. Т. 3. № 4.
52. Крюков В.А. Разработка параллельных программ для вычислительных кластеров и сетей // Информационные технологии и вычислительные системы. 2003. № 1-2.
53. Ложные суставы костей конечностей: метод. рекомендации ВМА им. С.М. Кирова / сост. В.М. Гайдуков, В.С. Дедушкин. СПб., 1994. 58 с.
54. Скляр Л.В., Немков В.А., Черкашин А.М. Использование ЭВМ при планировании операционной коррекции многоплоскостных полисегментарных деформаций нижних конечностей // Тез. докл. междунар. конф., посвящ. памяти акад. Г.А. Илизарова. Курган, 1993. С. 174-176.
55. Слободской А.В. Некоторые пути совершенствования чрескостного остеосинтеза при лечении переломов длинных трубчатых костей у детей // Актуальные вопросы лучевой диагностики в травматологии, ортопедии и смежных дисциплинах: материалы Всерос. конф. Курган, 2003. С. 222-224.
56. Слободской А.Б. Прогнозирование степени консолидации переломов костей // Актуальные вопросы лучевой диагностики в травматологии, ортопедии и смежных дисциплинах: материалы Всерос. конф. Курган, 2003. С. 219-222.
57. Слободской А.Б. Цифровая обработка видеoinформации и компьютерное моделирование операции чрескостного остеосинтеза при лечении переломов костей конечностей: учеб.-метод. пособие. Саратов, 2002. 33 с.
58. Слободской А.Б. Цифровая обработка видеoinформации и компьютерное моделирование операции чрескостного остеосинтеза при лечении переломов костей нижних конечностей: учеб.-метод. пособие. Саратов, 2002. 23 с.
59. Слободской А.Б. Цифровая обработка видеoinформации и компьютерное моделирование операции чрескостного остеосинтеза при лечении переломов костей верхних конечностей: учеб.-метод. пособие. Саратов, 2002. 28 с.
60. Слободской А.Б. Цифровая обработка видеoinформации и компьютерное моделирование операции чрескостного остеосинтеза при лечении переломов коротких костей конечностей: учеб.-метод. пособие. Саратов, 2002. 35 с.
61. Фатеев И.Н. Компьютерное моделирование в медицине. Опыт работы лаборатории института развития личности «Интеллект» // Профильное обучение и системе дополнительного образования детей: проблемы, поиски, пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Оренбург, 2006. С. 96-98.
62. Федоров В.Д., Кармазановский Г.Г., Цвиркун В.В. и др. Виртуальные хирургические операции на основе использования спиральной компьютерной томографии // Хирургия. 2003. № 2. С. 12-17.
63. Аврунин А.С., Демеш О.В., Касумова М.К. Перспективы и возможности цифровой обработки изображений в медицине // Травматология и ортопедия России. 1996. № 3. С. 83-85.
64. Шевцов В.И., Исмаилов Г.Р., Кузовков А.И. и др. Клинические возможности метода управляемого остеосинтеза в хирургии кисти и стопы // Гений ортопедии. 1998. № 4. С. 108-117.
65. Шевцов В.И., Щудло Н.А., Щудло М.М. и др. Применение трехмерной визуализации и компьютерной волюметрии для количественной оценки репаративного остеогенеза и органотипической перестройки новообразованной кости // Гений ортопедии. 1999. № 2. С. 120-123.
66. Шевчук В.В., Синицкий А.М. Ультразвуковая диагностика повреждений коленного сустава // Актуальные вопросы лучевой диагностики заболеваний и повреждений у военнослужащих: сб. ст. науч. сес. СПб., 2001. С. 151.
67. Шевцов В.И., Ерофеев С.А., Попков А.В. Автоматический дистракционный остеосинтез // Анналы травматологии и ортопедии. 1995. № 1. С. 44-47.
68. Ямщиков О.Н., Киреев С.Н., Марков Д.А., Емельянов С.А. Макет программно-информационного комплекса для травматологии и ортопедии // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2011. Т. 16. Вып. 1. С. 336-338.
69. Ямщиков О.Н., Марков Д.А., Абдулнасыров Р.К., Афанасьев Д.В., Ненашев А.А. Компьютерное моделирование в предоперационном планировании при лечении переломов бедренной кости // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 5. С. 1508-1510.

Поступила в редакцию 14 августа 2014 г.

Yamshchikov O.N. COMPUTER MODELING IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS (LITERATURE REVIEW)

In the article provides an overview of existing methods of computer modeling in traumatology and orthopedics. Their

characteristics, development and evaluation of the prospects of using computer simulations in traumatology and orthopedics are given.

Key words: computer simulation; model bone; osteosynthesis.

Ямщиков Олег Николаевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат медицинских наук, доцент, зав. кафедрой травматологии, ортопедии и медицины катастроф, e-mail: cep_a@mail.ru

Yamshchikov Oleg Nikolayevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Medicine, Associate Professor, Head of Traumatology and Orthopedics and Medicine of Catastrophe Department, e-mail: cep_a@mail.ru