

CAS системы - системы автоматизированного проектирования в хирургии # 03, март 2011

авторы: Жук Д. М., Перфильев С. А.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Центральный научно-исследовательский институт стоматологии
и челюстно-лицевой хирургии Минздравсоцразвития РФ, Москва, Россия

Введение

В середине 70-ых годов прошлого века, в современной медицине произошли важные события - на основе внедрения в медицинскую практику методов лучевой диагностики и развития информационных технологий были предложены новые технологии в диагностике, визуализации, терапии, хирургии и для фаз реабилитационного лечения. Основные направления внедрения информационных технологий в медицинскую практику связаны с обработкой больших объемов разнообразной медицинской информации и управлением медицинскими учреждениями. Однако наиболее серьезные проблемы возникли при внедрении информационных технологий в практику подготовки и планирования хирургического лечения. Это связано с тем, что требования повышения возможностей хирургического лечения и его эффективности привели к резкому росту и усложнению технического оснащения хирургов, включая сложнейшие робототехнические и компьютерные системы. В результате перед хирургами встала проблема решения множества непривычных и достаточно сложных технических задач, возникающих при использовании всего множества современного хирургического инструментария. При этом для решения этих задач практически невозможно было непосредственно использовать хорошо отработанные и освоенные инженерные методы, так как объектом хирургического вмешательства являются различные ткани живого

организма, свойства и поведение которых принципиально отличаются от свойств технических материалов и объектов.

Методы лучевой диагностики позволили врачам существенно повысить точность диагностики до и в процессе хирургической операции. Быстрое развитие методов компьютерной графики обеспечило высококачественную 3D визуализацию анатомических структур пациента, при этом хирурги и члены хирургических бригад получили возможность точно позиционировать хирургический инструмент в анатомическом поле и наблюдать его визуальное отображение. В результате оказалось возможным последовательно и непрерывно наращивать сложность и точность хирургических операций, сокращать время хирургического вмешательства и повышать его эффективность.

Возможности достаточно точных 3D моделей и методов визуализации прижизненной анатомии пациента и патологических процессов позволили разработать ряд методик и программных средств по предоперационному и интраоперационному планированию хирургического вмешательства [1] и обеспечить поддержку принятия решений при подготовке хирургических операций (рис. 1).

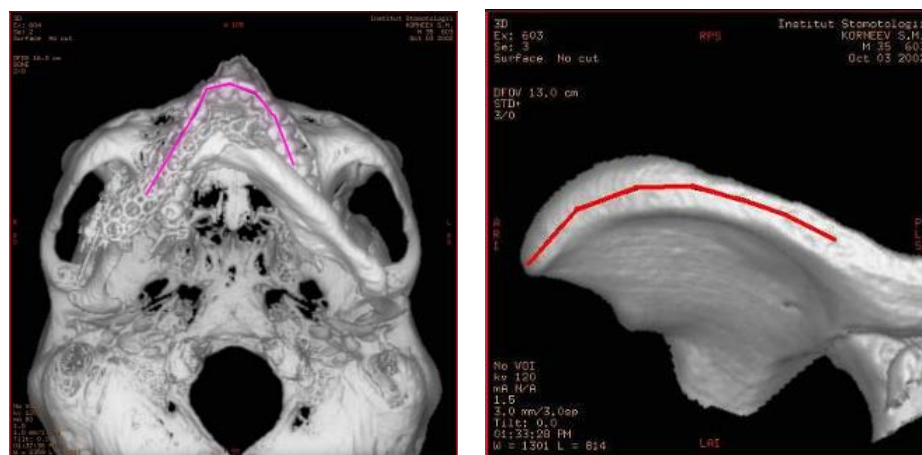


Рис.1. Сопоставление донорской (гребень подвздошной кости) и реципиентной зоны для локализации и определения числа необходимых остеотомий трансплантата для получения формы изгиба отсутствующей части лицевого скелета идентичной контралатеральной стороне по данным рентгеновской компьютерной томографии.

Однако, обычно, эти методики предназначены для решения частных задач конкретного типа операций и не пригодны для оценки процесса полной реабилитации пациента и всех его функциональных систем до и после операции. В то же время, исходя из возможностей современных информационных технологий, существующих методов диагностики и постоянно повышающихся требований к качеству результатов лечения, в том числе хирургического, очевидно требование системного подхода к информационно-диагностическому сопровождению пациентов на всех стадиях их лечения.

1. CAS технологии

Таким образом, задачу автоматизированного сопровождения работы хирурга во многих случаях можно рассматривать как техническую задачу и использовать для ее решения эффективные и проверенные методы и технологии компьютерной графики и CAD/CAE/CAM систем. В настоящее время такой подход, в основном, реализуется с помощью специальных технологий подготовки хирургического вмешательства, включая диагностику, а также предоперационное планирование и интраоперационное сопровождение. Первоначально они назывались Image Guided Surgery технологиями, а затем Computer Aided или Assisted Surgery – CAS технологиями. Работы над этими технологиями в странах Запада были начаты в середине 90-х годов прошлого века и в настоящее время эти методы достаточно широко используются в западной медицине [2]. CAS технологии также менее инвазивны чем традиционная хирургия, потому что хирурги могут быть более точными, используя современные технологии и робототехнический инструмент вместо традиционного ручного хирургического инструмента (или в дополнение к нему) в процессе операции. Это позволяет повысить уровень безопасности пациента и снизить риск послеоперационных осложнений.

Подготовка оперативного вмешательства с использованием CAS технологий проводится хирургами совместно с высококвалифицированными техническими специалистами, использующими различные прикладные программные системы CAD/CAM и компьютерной графики, не предназначенные для решения задач подготовки хирургического вмешательства. Традиционно комплект таких программ состоит из программы (AMIRA [3], Mimics [4] и т.п.), обеспечивающей обработку данных лучевой диагностики, как правило, представленных в формате DICOM [5], мощного 3D графического редактора (Autodesk 3DStudio Max [6] и т.п.) и других программных систем. Для повышения эффективности работы хирургов при планировании и проведении операций в Центральном научно-исследовательском институте стоматологии и челюстно-лицевой хирургии (ЦНИИС и ЧЛХ) и Российском научном центре хирургии (РНЦХ) на основе 3D моделей анатомических элементов и технологической оснастки, созданных с использованием перечисленных программ, методом стереолитографии изготавливаются их пластиковые модели [7].

2. CAS системы

Для автоматизированной поддержки процессов реализации CAS технологий разрабатываются специальные программные комплексы, называемые CAS системами. Удачным примером таких систем является программа SimPlant фирмы Materialise [8], ориентированная на решение проблем хирургии в стоматологии. Традиционно CAS системы предназначены для повышения эффективности работы хирурга и минимизации хирургического вмешательства [9, 10]. Это достигается путем решения следующих задач:

- 3D визуализации и построения 3D геометрической модели по данным лучевой диагностики;
- представления анатомических объектов с заданной точностью, интеграции этапов хирургического вмешательства;

- предоперативного планирования и интраоперационного сопровождения.

При этом процесс хирургического лечения в настоящее время состоит из следующих этапов:

1. исследование пациента – клинические анализы и начальная диагностика;
2. уточненная диагностика на базе методов лучевой диагностики;
3. визуализация патологии и создание 3D моделей анатомических элементов пациента;
4. планирование оперативного вмешательства, изготовление инструмента и оснастки для выполнения операции;
5. выполнение операции, интраоперационное сопровождение и фиксация хода операции;
6. оценка результатов хирургического вмешательства и принятие решения о дальнейших действиях по реабилитации пациента.

CAS системы обычно используются для решения задач со второго до пятого этапа и специализируются в соответствии с разделами хирургии: челюстно-лицевая, нейрохирургия, хирургия конечностей и т.п. [2]. Такая специализация обусловлена существенными различиями в анатомии и физиологии соответствующих органов человеческого тела.

В отечественной практике CAS системы не получили распространения из-за недостаточного использования современных информационных технологий в медицине, а также поскольку они не адаптированы к отечественным условиям, имеют высокую стоимость и сложны в освоении. В связи с этим подобные операции в нашей стране выполняются только в некоторых клиниках [7], где имеются технические специалисты (часто без медицинского образования), способные вместе с хирургами вручную, используя программные средства CAD/CAM и компьютерной графики, решать задачи третьего, четвертого и пятого этапов, связанные с созданием 3D моделей

анатомических элементов пациента, планированием хирургического вмешательства, проектированием имплантатов и т.п.

3. Новая структура медицинского технологического процесса хирургического вмешательства

В работе, выполняемой совместно специалистами кафедры САПР МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦНИИС и ЧЛХ и РНЦХ, предлагается начать создание отечественной CAS системы, предназначенной для хирургов челюстно-лицевой хирургии, а также расширить рамки использования CAS систем и включить ряд новых этапов, функционально обеспечиваемых и поддерживаемых CAS системами. Соответственно расширяется круг задач, решаемых с использованием CAS систем, и само понятие - CAS системы, как средства автоматизации работы медицинских специалистов, в первую очередь хирургов, в процессе полной реабилитации пациента. Предлагается рассматривать процесс лечения пациента как единый и непрерывный процесс, направленный на полное излечение пациента при минимизации всех отрицательных последствий и ущерба для пациента. Для решения этой задачи необходима интеграция всех этапов реабилитации пациента с учетом их взаимного влияния и прогнозных оценок последствий при принятии решений, как по отдельным этапам, так и по всему процессу реабилитации.

С учетом изложенных положений и на основе анализа существующих CAS технологий, современных технологий CAD/CAE/CAM, компьютерной графики и технических средств и перспектив их развития предлагается новая структура медицинского технологического процесса (МТП) хирургического лечения пациента, который должен включать следующие этапы:

- 1) исследование пациента – клинические анализы и начальная диагностика;
- 2) уточненная диагностика на базе *диагностической мультимодальной модели* пациента, объединяющей результаты

различных методов лучевой и функциональной диагностики;

- 3) мультимодальная комплексная визуализация патологии и синтез облика пациента с излеченной патологией (рис. 2) как *послеоперационной 3D модели* пациента [11];

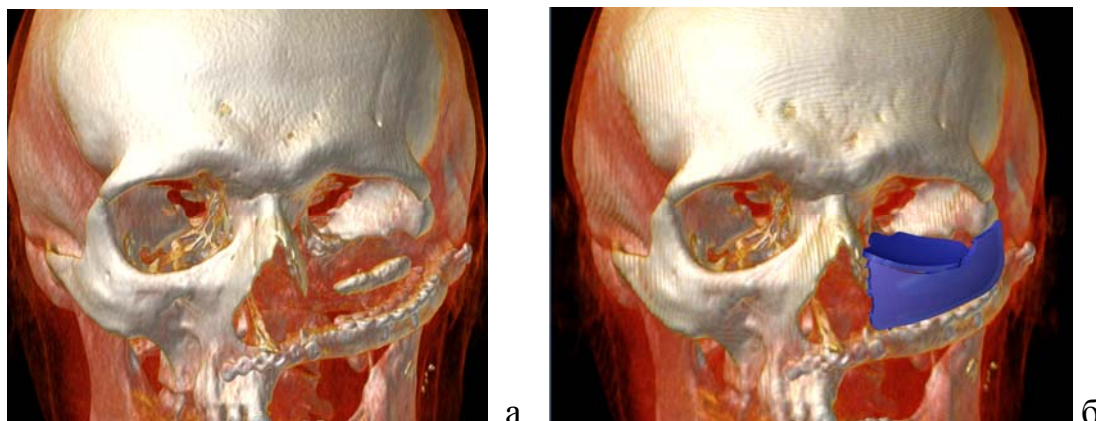


Рис. 2. 3D визуализация лицевого скелета пациента с дефектом левой скуловой кости и дна орбиты (а) и синтезированный облик пациента с аутотрансплантатами взятыми из теменной кости для замещения дефекта (б).

- 4) принятие решения о необходимости хирургического или других методов лечения;
- 5) создание *гибридных, мультимодальных (проектных) 3D моделей* необходимых анатомических элементов пациента с требуемой точностью, сопоставление актуальной модели пациента с послеоперационной моделью;
- 6) оценка патологии, выбор концептуальных вариантов реализации оперативного вмешательства и числа этапных оперативных вмешательств;
- 7) выбор варианта выполнения операции на основе моделирования хода операции (на базе *расчетной модели* пациента), определение технологической структуры выбранного варианта;
- 8) планирование (конструкторское проектирование) оперативного вмешательства с учетом рабочих зон инструмента и доступности операционных зон для хирурга [12], проектирование инструмента и

оснастки для выполнения операции (рис.3). Выбор интраоперационной навигационной системы и оценка необходимости и возможностей использования специальных средств (хирургических роботов, микроманипуляторов, лапароскопии, эндоскопии и т.п.);

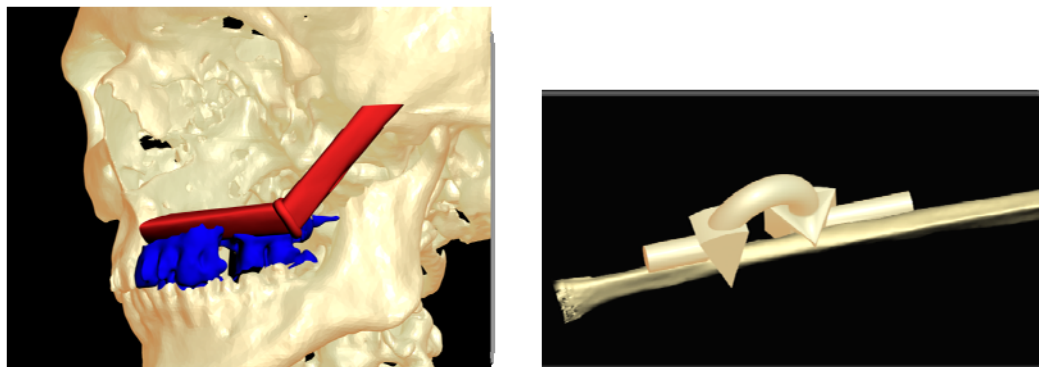


Рис. 3. Проектирование технологической оснастки (интраоперационного шаблона) для выполнения операции.

- 9) прогнозирование результатов послеоперационного выздоровления пациента для предлагаемого варианта оперативного вмешательства (на базе расчетной модели пациента) с возможностью возврата на этап 7 при отрицательной оценке данного варианта;
- 10) технологическое проектирование оперативного вмешательства как медицинского технологического процесса с подготовкой общего плана операции и операционных карт для каждого члена хирургической бригады, изготовление инструмента и оснастки для выполнения операции;
- 11) тренировка хирургической бригады в условиях дополненной (augmented) реальности;
- 12) выполнение операции, интраоперационное сопровождение хода операции с возможностью оперативного изменения плана операции и используемого инструментария, фиксация хода операции (рис. 4);

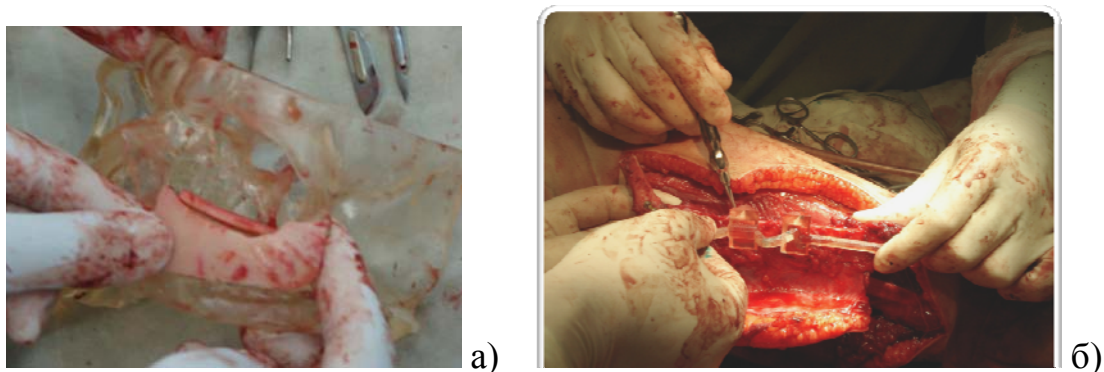


Рис. 4. Интраоперационное применение спроектированной модели лицевого скелета (а), и интраоперационного шаблона для моделировки аутооттрансплантата (б).

- 13) мониторинг состояния пациента с использованием **диагностической унимодальной модели** пациента, при удовлетворительном состоянии - возврат к пункту 5 при наличии невыполненных этапных оперативных вмешательств;
- 14) оценка результатов хирургического вмешательства, сопоставление их с результатами прогнозирования (пункт 9) и принятие решения о дальнейших действиях по реабилитации пациента.

Более подробно содержание этапов реабилитационного лечения пациента, используемых методов и моделей и других особенностей предлагаемого варианта МТП будет рассмотрено в последующих статьях по этой тематике.

4. Требования к перспективной CAS системе

В соответствии с предложенной структурой процесса хирургического лечения можно сформулировать требования к задачам, решаемым разрабатываемой CAS системой:

- создание необходимых геометрических 3D моделей требуемых анатомических областей пациента с заданной точностью и на их основе **мультимодальной диагностической модели** по данным лучевой и функциональной диагностики;

- визуализация различных 3D моделей анатомических областей пациента;
- создание гибридных мультимодальных (*проектных*) 3D моделей необходимых анатомических элементов пациента с заданной точностью;
- синтез эталонного послеоперационного облика пациента и соответствующих *послеоперационных 3D моделей*;
- создание гибридных мультимодальных (*расчетных*) 3D моделей необходимых анатомических элементов пациента с заданной точностью для моделирования процесса оперативного вмешательства и послеоперационных изменений в процессе выздоровления пациента;
- формальное описание оперативного вмешательства, создание библиотеки описаний типовых хирургических операций;
- синтез технологической оснастки оперативного вмешательства для устранения патологии;
- моделирование процесса выбранного варианта оперативного вмешательства с учетом рабочих зон инструмента и доступности операционных зон для хирурга при принятии решения по выбору варианта операции;
- проектирование инструмента и оснастки для выполнения операции;
- прогнозирование последствий оперативного вмешательства;
- технологическое проектирование оперативного вмешательства;
- интраоперационное сопровождение хода операции с возможностью оперативного изменения плана операции и используемого инструментария.

Для решения перечисленных задач необходимо проведение ряда исследовательских работ для разработки соответствующих методов и моделей. Необходимо также сформулировать спецификацию к новому поколению CAS систем, разработать их теоретическую и алгоритмическую базу и сами системы.

Благодарность

Авторы статьи благодарны Министерству науки и образования РФ за финансовую поддержку в виде Государственного контракта №П1274 от 27.08.2009 на проведение поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации Федеральной Целевой Программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по теме «Разработка методологии совершенствования учебно-тренировочного процесса учащихся ВУЗов и спортсменов высшей квалификации на основе изучения закономерностей физиологии опорно-двигательного аппарата», в рамках которой получены представленные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dirk Bartz, Gordon Kindlmann, Klaus Mueller, Bernhard Preim⁴, Markus Wacker⁵ IEEE Visualization 2005. Tutorial 2. Visual Medicine: Foundations and Advanced Applications of Medical Imaging. Full-Day Tutorial. - University of Tübingen, Brigham and Women's Hospital, Stony Brook University, University of Magdeburg, University of Applied Sciences Dresden, 2005.
2. "Computer Assisted Surgery. Precision Technology for Improved Patient Care", March 22, 2004, <http://www.advamed.org/newsroom/caswhitepaper.pdf>
3. Документация по программе AMIRA фирмы Visage Imaging - <http://www.amira.com/documentation.html>
4. Материалы по программе Mimics фирмы Materialise <http://www.materialise.com/mimics>
5. Описание стандарта формата DICOM <http://medical.nema.org/dicom/geninfo/Strategy.pdf>
6. Материалы по программе 3ds Max фирмы Autodesk <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=13567426>
7. С.Б. Буцан, С.Б. Хохлачев, С.А. Перфильев, Ш.Н. Йигиталиев Хирургическое лечение больных с дефектами и деформациями скуло-

- глазничной области с применением трехмерного компьютерного моделирования при планировании оперативного вмешательства. // «Институт стоматологии» — Санкт-Петербург, № 47, июнь 2010.
8. Материалы по программе SimPlant фирмы Materialise <http://www.materialise.com/materialise/view/en/2970306-SimPlant.html>
 9. Computer Aided Surgery, Official Journal of ISCAS.
 10. Computer Assisted Surgery. Precision Technology for Improved Patient Care. - March 2004, 2005 by the Advanced Medical Technology Association.
 11. Демина А.И. Разработка общей схемы синтеза предпроектной антропометрической 3D-модели пациента для челюстно-лицевой хирургии. // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование. – М, 2010.
 12. Давыденко Е.А., Жук Д.М. Особенности задач проектирования хирургических операций в челюстно-лицевой хирургии. // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование. – М, 2010.