

УДК 616-089.11:004.891.3;612.76

Компьютерная томография и биомеханическое сопровождение в челюстно-лицевой хирургии

А.Н. Чуйко, Д.К. Калиновский¹, К.Р. Пограничная²

¹Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького МЗ Украины

² Львовский национальный медицинский университет им. Д. Галицкого. Украина

The article describes a possible use of the CT/CAD/CAE/CAM system, built on the basis of computed tomography with inclusion of primary and control CT of patients, for a complex solution of the most acute problems in practical maxillofacial surgery.

Наведено можливості використання системи CT/CAD/CAE/CAM, побудованої на базі комп'ютерної томографії з первинною і контрольною CT пацієнта, для комплексного вирішення найбільш актуальних завдань у практичній щелепно-лицевій хірургії.

Ключевые слова: система CT/CAD/CAE/CAM, челюстно-лицевая хирургия, компьютерная томография, биомеханическое сопровождение

Введение

В системном подходе при анализе таких сложных объектов (систем), которые имеют место в челюстно-лицевой хирургии (ЧЛХ), особую роль приобретает биомеханическое сопровождение, построенное на базе современных компьютерных технологий. В основе этих технологий лежит компьютерная томография (СТ), которая является не только одним из важнейших методов диагностики в медицине, но и служит для построения трехмерных (3D) представлений исследуемых объектов с последующим их использованием в системе CT/CAD/CAE/CAM. CAD (Computer Aided Design) — компьютерный дизайн или компьютерное конструирование; CAE (Computer Aided Engineering) — компьютерная помощь в инженерных расчетах, как правило, на базе метода конечных элементов (МКЭ); CAM (Computer Aided Mechanics) — компьютерная помощь в производстве с передачей информации в центр изготовления изделия; .

Проанализированы возможности системы CT/CAD/CAE/CAM, построенной на базе компьютерной томографии с первичной и контрольной СТ пациента, для комплексного решения наиболее актуальных задач в практической челюстно-лицевой хирургии.

Материал и методы

Современные компьютерные технологии в медицине вообще и в челюстно-лицевой хирургии

в частности базируются на компьютерной томографии и CAD/CAM технологиях, которые появились в медицине практически одновременно, в 80-х годах прошлого столетия.

CAD/CAM технологии как элементы систем автоматизированного проектирования пришли в стоматологию и челюстно-лицевую хирургию из техники. Родоначальником принято считать Мэтта Андерсона, который в 1981 году применил первую систему CAD/CAM при производстве титановых каркасов мостовидных протезов. Базируются современные достижения в биомеханике, в первую очередь, на современных компьютерных технологиях — системах CAD/ CAE/CAM.

Особенно плодотворным оказалось применение специализированных программ по оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) технических систем, основанных на таком современном методе механико-математического моделирования, как метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ — международный стандарт для решения задач механики твердого тела посредством численных алгоритмов. Достаточно сказать, что ни один мост, ни один самолет и т.п. не сертифицируются международными организациями, если они рассчитаны без применения этого метода. В последние годы метод получает все большее применение в биомеханике вообще, а также в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии в частности. Об этом свидетельствуют многочисленные статьи и материалы по-

следних международных конгрессов, конференций и симпозиумов. В медицине, как и в технике, широко используются программные комплексы ANSYS, ABAQUS, SolidWorks/COSMOSWorks и др.

Как всегда при развитии в науке и технике, одно достижение вызывает развитие в других смежных областях. Конечноэлементное моделирование и анализ в медицине получают новые практически неограниченные возможности, если строятся на базе компьютерной томографии, так как появляется возможность строить не канонические или идеализированные модели, а модели, максимально приближенные к конкретному пациенту, как по геометрии, так и по свойствам мягких и костных тканей. Вся система CAD/CAE/CAM — это, с одной стороны, система знаний, базирующаяся на инженерном подходе. С другой стороны, система CAD/CAE/CAM — это сложный комплекс разных компьютерных программ, и их освоение, как теоретическое, так и практическое, требует и времени, и методического обеспечения. Все современные компьютерные технологии построены на численных математических методах. Очевидно, знать их суть врачу трудно и, возможно, не обязательно. Но уметь готовить исходные данные, анализировать и внедрять полученные результаты необходимо. Работать с числом (его размерностью, знаком, порядком) — это удел любого специалиста, обращающегося к биомеханике.

Результаты и их обсуждение

Клинический случай 1

Пациент К., 40 лет, госпитализирован в клинику с последствиями сочетанной черепно-мозговой и челюстно-лицевой травмы спустя 4 месяца после получения травмы. На первичном этапе лечения в челюстно-лицевом стационаре по месту жительства пациента проведена первичная хирургическая обработка костных и мягкотканых ран, остеосинтез нижней челюсти (НЧ) слева с использованием шва кости полиамидной нитью. Вследствие тяжести травмы, оскольчатой формы перелома, нестабильности первичной фиксации и т.д. развился травматический остеомиелит нижней челюсти слева, вследствие чего спустя 2 месяца проведены секвестрэктомия и остеосинтез нижней челюсти с использованием металлической скобы. К сожалению, и повторная фиксация оказалась нестабильной. Больной направлен на консультацию и дальнейшее лечение в областную клинику челюстно-лицевой хирургии. В предоперационном периоде с целью планирования объема предстоящего хирургического лечения проведена СТ с 3D реконструкцией костей лицевого черепа (рис. 1 а, б).

По данным СТ, у пациента имеется дефект тела и угла нижней челюсти слева, смещение малого фрагмента (ветви нижней челюсти (НЧ) слева) кпереди и кверху.

Составлен план лечения пациента К.: 1) ревизия зоны перелома нижней челюсти слева, удаление металлоконструкции (скобы), секвестрэктомия; 2) дву-челюстное шинирование; 3) пластика дефекта нижней челюсти. К сожалению, дефект и рубцовая деформация мягких тканей, окружающих НЧ (прежде всего слизистой оболочки полости рта), не позволили провести планируемую пластику дефекта нижней челюсти с использованием костного аутотрансплантата в связи с высоким риском «смещения» его в полость рта. Поэтому был реализован вариант — восстановление анатомической целостности НЧ путем фиксации отломков реконструктивной пластиной 101.03 из комплекта КОНМЕТ, укороченной интраоперационно до 80 мм (рис. 1 в, г).

Проведена контрольная СТ, которая позволила не только определить степень удовлетворения требованиям, сформулированным при планировании операции, но и имеет важное методическое и научное значение для обоснования возможностей современных компьютерных технологий в ЧЛХ.

Рассмотрим последовательно результаты, достигнутые при последнем хирургическом вмешательстве, и возможные пути дальнейшей реконструкции НЧ пациента.

Визуальный анализ показывает, что левая ветвь НЧ смещена кпереди и развернута так, что венечный отросток сдвинут вверх на 4,6 мм (по данным инструментального замера). Фронтальная часть

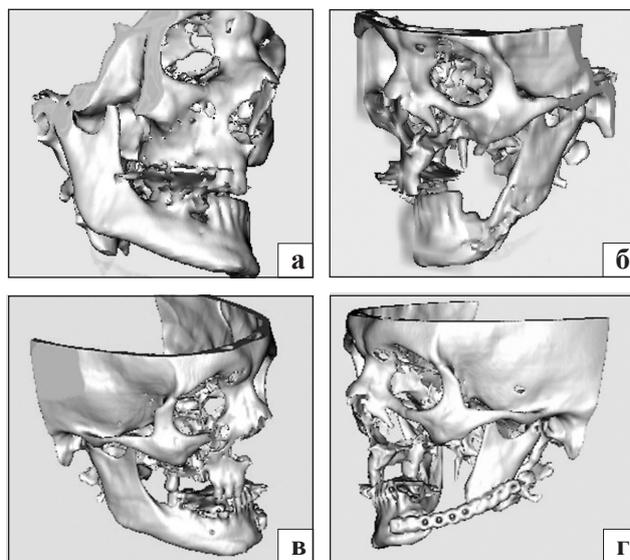


Рис. 1. Фото 3D компьютерной реконструкции лицевого черепа больного К. до (а, б) и после (в, г) операции

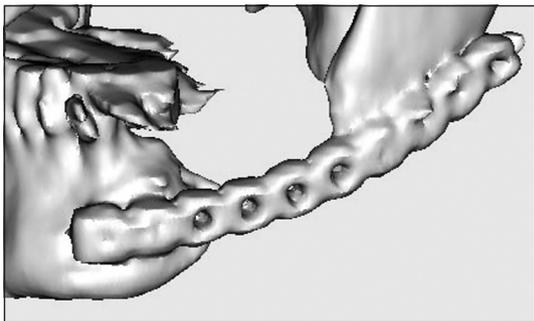


Рис. 2. Фото 3Д. СТ реконструкция левой нижней челюсти после операции, пластина реконструктивная с прилегающими костными тканями

челюсти осталась несимметричной по высоте, а вопрос о ее симметрии в горизонтальной проекции остается открытым. Края фронтальной части и ветви, примыкающие к зоне травмы, не остеотомированы (рис. 2), что может существенно затруднить в последующем подбор костного трансплантата.

Оценка 3Д реконструкции и рентгенограмм НЧ (рис. 3) позволяет подчеркнуть следующие особенности:

- 1) пластина реконструктивная выступает за пределы ветви челюсти (до 10 мм);
- 2) пластина реконструктивная в зоне ветви челюсти расположена очень близко к краю перелома, что может не удовлетворять условию прочности [3];
- 3) плотность костной ткани в зоне фиксирующих винтов на ветви челюсти невысокая;
- 4) «прилегание» пластины реконструктивной во фронтальной части НЧ неполное. Это может привести к «работе» крайнего винта на изгиб и к преждевременному его расшатыванию [3];

5) вопрос о жесткости и прочности всей системы «пластина реконструктивная – костные ткани» требует дополнительного анализа.

В дальнейшем возможны два варианта: 1) анализ с целью выработки рекомендаций по совершенствованию результатов последнего хирургического лечения; 2) выработка рекомендаций по радикальному хирургическому вмешательству.

Рассмотрим возможности радикального хирургического вмешательства на НЧ с учетом рекомендаций по остеотомии и разработки «заготовок» конструкции пластины реконструктивной и костного трансплантата, используя правую сторону челюсти в виде «шаблона» (рис. 4).

Основное внимание сосредоточим на решении следующих задач:

- 1) репозиция фрагментов, в первую очередь головки левого ВНЧС, в положение, близкое к анатомическому;
- 2) моделирование (размеров и формы) костного трансплантата для адекватного восстановления дефекта тела и угла нижней челюсти слева;
- 3) проектирование имплантата для функциональной взаимосвязи фронтальной части челюсти с ветвью нижней челюсти слева.

Для проектирования костного трансплантата проведем виртуальную остеотомию левой и правой ветви НЧ.

На рис. 5 приведены результаты построения по STLV модели эскизов, которые являются основой для создания твердотельной модели (рис. 5 в). При этом учтено, что на левой стороне пока нет зубов, и высота фронтальной части челюсти справа и слева

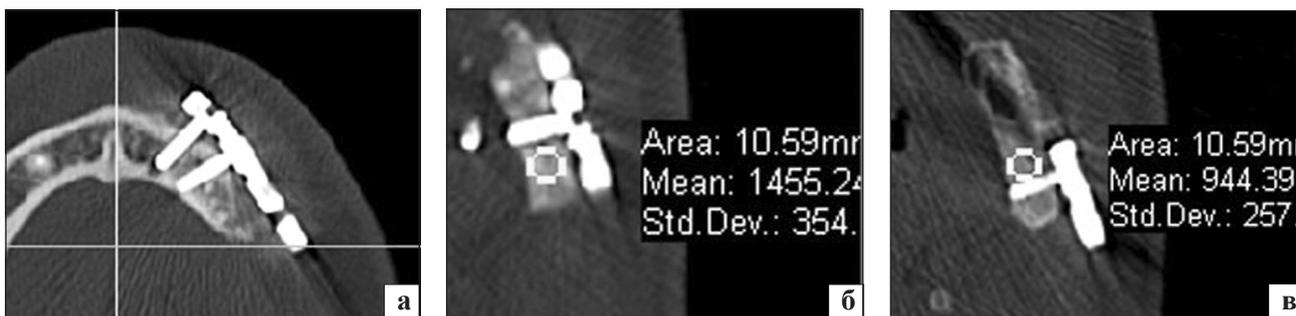


Рис. 3. Фото рентгенограмм НЧ. Пластина с фиксирующими винтами во фронтальной зоне (а) и на ветви челюсти (б, в)

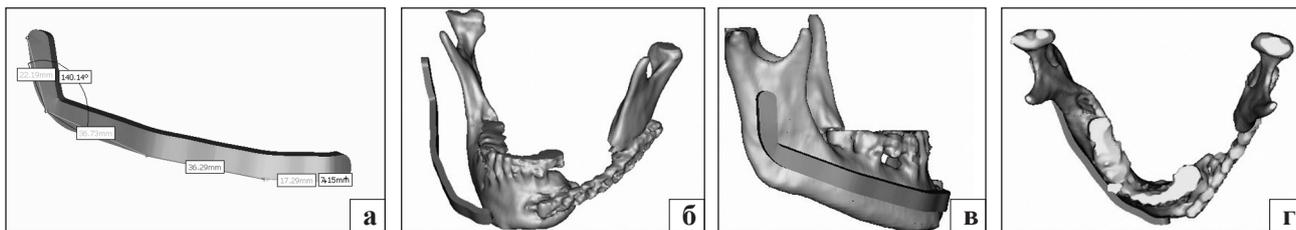


Рис. 4. Вид имплантата (а) и этапы моделирования остеосинтеза правой нижней челюсти (б, в, г)

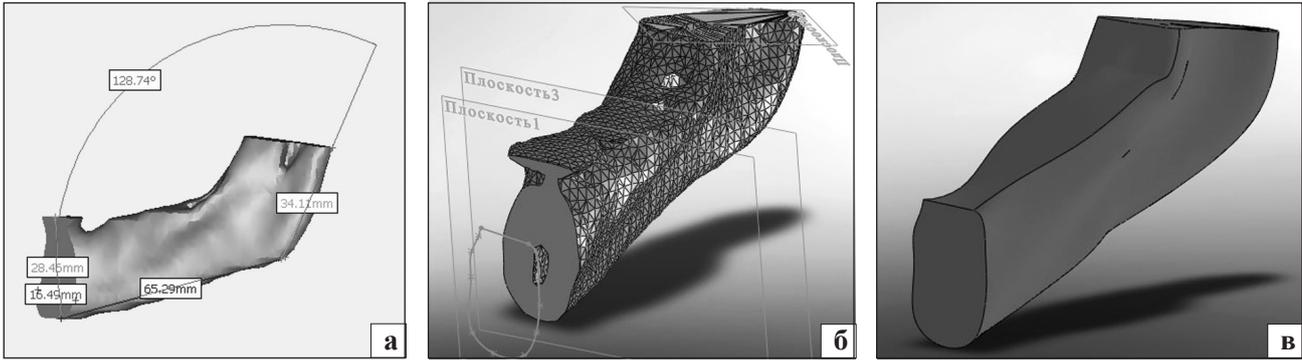


Рис. 5. Фото 3Д. СТ реконструкция левой нижней челюсти (а), STLV модель костного трансплантата (б) и его твердотельная модель (в)

разная. На этом этапе к работе необходимо привлечь стоматолога-ортопеда и имплантолога. Завершающей операцией при выработке рекомендаций по радикальному хирургическому вмешательству на НЧ может быть контрольная сборка всех частей челюсти в единое целое. Такую контрольную сборку более эффективно проводить после получения реально изготовленного костного трансплантата и пластины реконструктивной.

Таким образом, все поставленные выше задачи — по репозиции фрагмента левой головки ВНЧС в положение, близкое к анатомическому; по моделированию костного трансплантата для восстановления дефекта тела и угла нижней челюсти слева и проектирование имплантата для функциональной взаимосвязи фронтальной части челюсти с левой ветвью нижней челюсти — выполнены. Можно предположить, что лечащий врач ограничится одним из возможных вариантов реконструкции: 1) установит костный трансплантат, который позволит «собрать» левую часть челюсти в конфигурацию, близкую к анатомической; 2) установит костный трансплантат и пластину реконструктивную; 3) ограничится установкой пластины реконструктивной с расположением жизнеспособных осколков «по месту».

При необходимости может быть проведен приближенный анализ на прочность и жесткость про-

веденной и планируемой реконструкции по приближенной методике, излагаемой ниже, также может быть проведено конечноэлементное моделирование и анализ.

Клинический случай 2

Пациент Л. (46 лет) получил производственную сочетанную черепно-мозговую и челюстно-лицевую травму в шахте 26.04.10. Среди повреждений лицевого черепа имели место оскольчатые переломы верхней челюсти по Ле-Фор III, скуло-орбитального комплекса справа, костей носа, открытый тройной перелом нижней челюсти в области мышечковых отростков слева и справа и в ментальном отделе справа, а также множественные ушибленные раны и гематомы лица. После нескольких восстановительных операций проведена первичная СТ (4.11.10), результаты которой представлены на рис. 6 в виде 3D модели мозгового и лицевого отделов.

Используя результаты первичной СТ, 20.12.10 в клинике ЧЛХ ЦГКБ № 1 выполнили операцию — устранение ложного сустава нижней челюсти с использованием стандартного сетчатого имплантата (СИ), рефрактура, репозиция и остеосинтез правого скуло-орбитального комплекса мини-пластиной с винтами (рис. 7).

Основными задачами реконструктивно-восстановительного лечения в области ментального

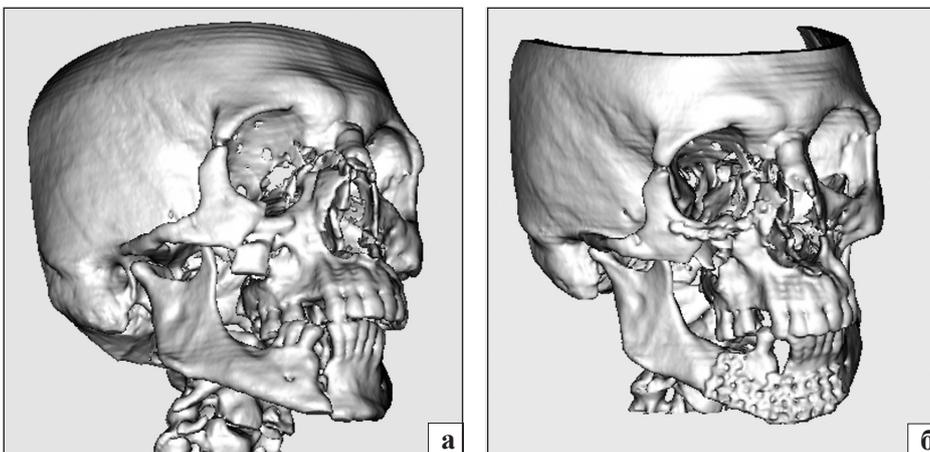


Рис. 6. 3Д реконструкция мозгового и лицевого отделов до (а) и после (б) операции



Рис. 7. Ортопантомограмма НЧ пациента после операции

отдела НЧ на данном этапе были следующие:

- 1) удаление фиброзной ткани из зоны перелома, «освежение» краев костных фрагментов, что, в свою очередь, предусматривало дополнительное удаление компактной костной ткани из зоны перелома;
- 2) восстановление формы НЧ максимально возможно к анатомической путем репозиции костных фрагментов;
- 3) адекватная (насколько это возможно в сложившейся клинической ситуации) фиксация фрагментов с целью создания условий для более быстрого восстановления (заполнения молодой костной тканью) дефекта в зоне перелома.

Таким образом, разработанная в [2] и адаптированная в [1] для челюстно-лицевой хирургии методика реконструкции травмированной челюсти без вскрытия операционного поля как элемента технологии СТ/CAD/CAE/CAM использована в рассматриваемом случае фактически только для послеоперационной диагностики. Анализ состояния костных тканей в зоне установленного сетчатого имплантата (по данным контрольной томографии) через 22 дня после операции показывает, что восстановление ложного сустава происходит медленно. Требуется тщательный контроль состояния пациента.

При необходимости повторной операции можно рассмотреть: 1) конструкцию сетчатого имплантата, разработанного строго по конфигурации корректно соединенных частей челюсти; 2) несколько вариантов пластинчатых имплантатов, расположенных как на фронтальной части подбородка, так и под ним. Эффективность обоих вариантов операции может быть оценена с помощью расчетов на прочность и жесткость.

Выводы и практические рекомендации

1. Из разработанной в [2] и адаптированной в [1] для челюстно-лицевой хирургии методики реконструкции травмированной челюсти без вскрытия операционного поля, технологии СТ/CAD/CAE/CAM

в проведенном исследовании активно использованы только две ее составляющие СТ/CAD с их конкретной реализацией, заложенной в программах MIMICS и SolidWorks. Возможность использования составляющих CAE/CAM только намечена — при необходимости более глубокого анализа прочности и жесткости и при необходимости изготовления индивидуальных имплантатов.

Предлагаемая система СТ/CAD/CAE/CAM может быть использована челюстно-лицевыми хирургами, ортопедами-стоматологами, имплантологами, ортодонтами, травматологами-ортопедами и др., позволяя моделировать любые элементы реконструкции, не вскрывая предварительно операционное поле.

Показана эффективность предлагаемой методики по применению современных компьютерных технологий в ЧЛХ как при наличии первичной СТ, так и после проведения контрольной СТ.

Для полного завершения предлагаемой методики по применению современных компьютерных технологий, на наш взгляд, следует решить еще два вопроса:

- 1) разработать систему хирургических указок, маяков и контрольных точек, которые будут использованы хирургом при проведении операции для точного согласования при размещении спроектированных элементов;
- 2) разработать технологию изготовления как металлических элементов реконструкции (имплантатов), так и костных трансплантатов. В случае большой сложности спроектированных костных трансплантатов и реконструктивных имплантатов можно по аналогии [2] рассмотреть технологию изготовления индивидуального имплантата путем создания его литейных форм с помощью программы SolidWorks.

2. Анализ состояния костных тканей в зоне установленного сетчатого имплантата (по данным контрольной томографии) пациента Л. через 22 дня после операции показывает, что восстановление ложного сустава происходит медленно. Требуется тщательный послеоперационный контроль состояния пациента.

При необходимости повторной операции можно рассмотреть: 1) конструкцию сетчатого имплантата, разработанного строго по конфигурации корректно соединенных частей челюсти; 2) несколько вариантов пластинчатых имплантатов, расположенных как на фронтальной части подбородка, так и под ним. Эффективность обоих вариантов операции может быть оценена с помощью расчетов на прочность и жесткость.

3. Изготовление имплантатов (их изгибание из стандартных заготовок) и костных трансплантатов можно проводить по виртуальным стереолитографическим моделям.

4. Восстановление зубных рядов может быть проведено как с использованием накопленной информации, так и дополнительной, по заказу ортопеда.

5. Расчеты на прочность и жесткость либо по приближенной методике [2,4], либо более точно, на основе конечноэлементного моделирования и анализа, позволят ответить на вопросы о рациональности и долговечности проведенной реконструкции.

Для биомеханического обоснования принимаемых решений, особенно на этапе планирования операции, в бригаду должен входить специалист, выполняющий необходимые расчеты.

Следует ожидать существенных изменений в подготовке и характере работы черепно-лицево-но-лицевых хирургов, владеющих современными компьютерными технологиями.

Литература

1. Чуйко А.Н. О некоторых особенностях современных компьютерных технологий в челюстно-лицевой хирургии / А.Н. Чуйко, Д.К. Калиновский // ДенталЮг. — 2011. — № 1–2. — С. 8–12.
2. Чуйко А.Н. Биомеханика в стоматологии / А.Н. Чуйко, И.А. Шинчуковский. — Х.: Форт, 2010. — 516 с.
3. Чуйко А.Н. Возможна ли стоматология без оттисков? / А.Н. Чуйко // Стоматолог. — 2009. — № 12. — С. 49–55.
4. Особенности биомеханики нижней челюсти при остеосинтезе на костными пластинами с винтами / А.Н. Чуйко, Д.К. Калиновский, И.Н. Матрос-Таранец, И.Х. Дуфаш // Травма. — 2006. — Т. 7, № 3. — С. 416–425.

Статья поступила в редакцию 18.02.11