

Проволочная модель бедра и её использование для планирования остеотомии

Василий Гончаренко¹, Вячеслав Архипов¹, Александр Тузиков¹, Олег Кривонос², Олег Соколовский³

¹Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;

²Институт вычислительной медицины, Мангейм, Германия;

³Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Минск, Беларусь.

Резюме

В статье приводится описание проволочной модели бедра, которая используется при планировании косой и ротационной остеотомии в системе компьютерной поддержки планирования лечения в ортопедии и травматологии. Эта система использует в качестве исходных данных результаты КТ обследования. Она даёт пользователю возможность сегментации и визуализации объектов, а также проведения измерений анатомических параметров этих объектов. Также, с помощью этой системы можно планировать и проводить виртуально (моделировать) операции по коррекции анатомической формы костей: виртуальные остеотомию и остеосинтез.

Ключевые слова: система поддержки планирования операций, обработка изображений КТ, моделирование операций.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач ортопедии является лечение деформаций и нарушений функций костно-мышечной системы. Для диагностики этих деформаций используются методы измерения параметров, характеризующих форму костей и величину отклонения от нормы, показывающую степень и характер деформаций. Форма кости может быть описана путем задания последовательности точек и последующем измерении углов, расстояний и других геометрических параметров с их использованием. Так как методика измерений принципиально не отличается для различных костей, приведем оценку геометрических параметров на примере диагностики и лечения деформаций тазобедренного сустава [1, 2].

2. АНАТОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

Для того чтобы иметь возможность оценки параметров бедра и устанавливать количественные отношения между любыми точками в пределах бедра, необходимо задать систему координат. Анатомическая система координат бедра устанавливается следующим образом. Центр координат находится в точке $CORA$ (точка O на рисунке 1). Ось Oz совпадает с проксимальной осью диафиза бедра (CO на рисунке 1) - она задает вертикальное (краниальное) направление. Ось Ox является проекцией оси мыщелков (CC_1 на рисунке 1) на плоскость, ортогональную оси Oz и проходящую через центр координат, - она задает латерально-медиальное направление. Ось Oy ортогональна осям Ox и Oz

и проходит таким образом, что тройка Ox, Oy, Oz является правой. Ориентация векторов в анатомической системе координат задается путем указания двух углов:

- 1) между прямой OT и её проекцией на фронтальную плоскость (φ на рисунке 1);
- 2) между прямой OT и её проекцией на сагиттальную плоскость (ψ на рисунке 1).

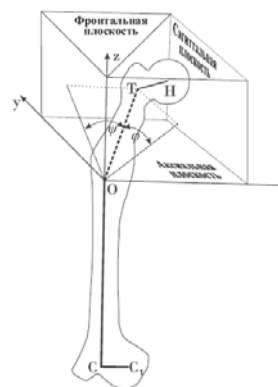


Рисунок 1: Анатомическая система координат бедра.

3. ПРОВОЛОЧНАЯ МОДЕЛЬ БЕДРА

Форма бедра (в той мере, которая достаточна для измерения анатомических углов) полностью определяется анатомическими ориентирами, определяющими головку бедра, ось шейки бедра, обе оси диафиза, а также ось мыщелков. Если последовательно соединить все эти ориентиры, то получится так называемая проволочная модель бедра, которая несет в себе положение всех анатомических ориентиров в системе координат бедра (рисунок 1). Такая модель данных является компактной, понятной с точки зрения геометрии бедра и удобной для анализа степени патологии, принятия решения о необходимости остеотомии и вычисления её параметров.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ

Различные типы операций требуют анализа различных анатомических параметров. Большинство операций на бедре требуют коррекции различных геометрических характеристик объектов, описывающих деформацию, путем приведения этих характеристик в диапазон наиболее приемлемых значений. Указанные характеристики обычно составляют положение набора анатомических ориентиров,

углы между прямыми, проходящими через анатомические ориентиры, а также другие более сложные атрибуты. В большинстве случаев основную информацию об объекте планирования можно получить из анализа проволочной модели бедра. В более сложных случаях требуется анализ формы части поверхности как самой кости, так и ее соседей. В этом случае необходимо выделить контур кости и оценить положение некоторой последовательности точек, лежащих на этом контуре.

4.1 Косая остеотомия

Вначале хирург помечает 5 анатомических ориентиров для определения формы кости и вида возможных деформаций (H , T , O , C , C_1 на рисунке 2ф). Затем производится анализ двух параметров: шеечно-диафизарного угла (угол между векторами TH и CO) и угла торсии бедра (угол между проекциями осей TH и CC_1 на плоскость, ортогональную вектору CO). Если шеечно-диафизарный угол находится вне заданных пределов τ_1 , τ_2 и/или угол торсии превышает заданный порог β , тогда необходимо выполнить коррекцию деформаций путем остеотомии. При этом положение плоскости разрезания кости соответствует точке O (рисунок 2а). Ориентация этой плоскости и угол поворота бедра α относительно неё определяется автоматически на основании решения задачи двумерной оптимизации.

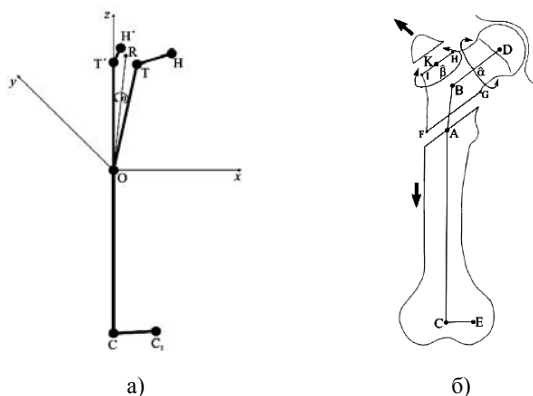


Рисунок 2: а) косая остеотомия (проволочная модель); б) ротационная остеотомия бедра.

4.2 Ротационная остеотомия

Эта операция выполняется, когда необходимо скорректировать не только угол торсии бедра, но и шеечно-диафизарный угол. Как и в случае с косой остеотомией, хирург определяет базовую плоскость, а также структуру деформаций бедра путем задания шести анатомических ориентиров (B , D , A , C , E , K на рисунке 2б). Положение плоскости разреза определяется ориентиром A . Вычисление ориентации этой плоскости может быть сформулировано в виде оптимизационной задачи. Она вычисляется таким образом, чтобы после двух вращений на углы $\hat{\alpha}$ (вокруг оси шейки бедра) и $\hat{\beta}$ (вокруг нормали плоскости разреза разрезанной части бедра ($FGHI$ на рисунке 2б)), модель перешла в наиболее приемлемое состояние, описываемое шеечно-диафизарным углом (угол между прямыми AC и BD на рисунке 2б) и углом торсии шейки бедра, а также, чтобы верхняя часть головки бедра имела поверхность, наиболее совпадающую с поверхностью вертлужной впадины таза, в

которой она анатомически расположена. Плоскость разреза большого вертела бедренной кости (HI на рисунке 2б) проходит параллельно плоскости разреза FG и необходима для того, чтобы выполнить вращение вокруг оси шейки бедра. Ее положение определяется вручную заданием анатомического ориентира K в основании большого вертела.

Угол $\hat{\alpha}$ вычисляется таким образом, чтобы верхняя часть головки бедра (направление «верх» совпадает с осью Oz системы координат бедра) имела бы форму поверхности, наиболее совпадающую с соприкасающейся с ней частью поверхности вертлужной впадины таза.

На рисунке 3а показаны результаты планирования ротационной остеотомии и плоскость разрезания. На рисунке 3б показана повернутая часть кости на 90° в заднем направлении с уменьшением шеечно-диафизарного угла на 10° с использованием вышеприведенной оптимизационной процедуры.

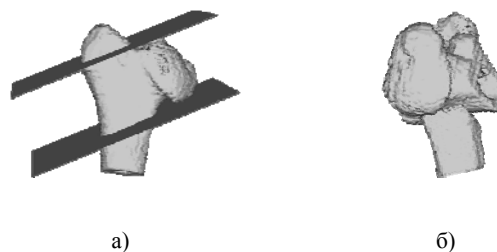


Рисунок 3: Результат планирования (а) и проведения (б) виртуальной остеотомии.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из проблем планирования хирургических операций является точность определения их количественных параметров. При идеальном расчете хирург должен получить цифровую информацию, например, в градусах или миллиметрах, о степени необходимого перемещения вертлужной впадины в каждом из трех направлений. Исход такой операции во многом зависит от степени коррекции, то есть степени и направления перемещения объекта оперирования, в каждой из трех плоскостей. Разработанное программное обеспечение позволяет вычислять параметры коррекции деформаций в рамках планирования операций косой и ротационной остеотомий бедра с учетом трехмерной структуры суставов и, следовательно, минимизировать возможные ошибки на этапе планирования.

6. ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- [1] Krivonos O., Hesser J., Maenner R., Keppler P., Gebhard F., Kinzl L., Sakalouski A.A., Sakalouski A.M. Precise computer aided correction of bone deformities // Proc. of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Sydney, Australia, 2003.
- [2] Hancharenka V., Tuzikov A., Arkhipau V., Kryvanos A. Preoperative planning of pelvic and lower limbs surgery by CT image processing // Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (PRIA'2007), Yoshkar-Ola, Russia, 2007, pp. 270-274.