

УДК 611.94:611.26:004.94

В.Г. Дуденко, О.Г. Аврунин, М.Ю. Тымкович, В.В. Куринной
Харьковский национальный медицинский университет
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

УЧЕТ АНАТОМИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДИАФРАГМЫ

Разработано программное обеспечение, позволяющее строить индивидуальную модель диафрагмы человека с учетом анатомических отверстий. Персонализированная модель диафрагмы человека дает возможность наглядно оценить диафрагму и влияние на нее пищеводного, аортального отверстия и отверстия нижней полой вены.

Ключевые слова: компьютерная томография, персонализированная модель диафрагмы, анатомические отверстия.

Данные томографических исследований позволяют получать огромное количество дополнительной информации, в том числе и при построении компьютерной модели диафрагмы.

Построенная персонализированная модель диафрагмы, кроме передачи характера и особенностей поверхности, должна описывать естественные анатомические отверстия в диафрагме, а именно отверстие нижней полой вены, аортальное отверстие и пищеводное.

Данные образования, кроме своих габаритных показателей, несут информацию о характере результирующей поверхности диафрагмы, её геометрии.

Цель данной работы – построение индивидуальной компьютерной модели диафрагмы человека с учетом анатомических отверстий.

Исходными данными являются данные компьютерной томографии отдельного человека, заключенные в серию DICOM-изображений [1, 2]. Данная модель строится по уже готовой, триангулированной поверхности диафрагмы (рис. 1).

Рассмотрим как пример томографический срез с аортальным отверстием (рис. 2). Как видно из рис. 2, для описания аортального отверстия на одном срезе достаточным является использование эллипса.

Следует принять во внимание, что в отличие от приведенного примера эллипс в общем случае может иметь оси разной длины, а также различный угол наклона.

В параметрическом виде уравнение эллипса имеет следующий вид:

$$\begin{cases} x = a \cos(t) \\ y = b \sin(t), \end{cases}$$



Рис. 1. Триангулированная модель диафрагмы без учета анатомических отверстий

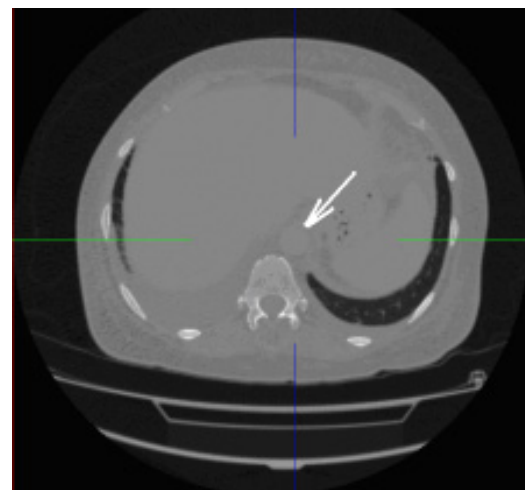


Рис. 2. Томографический срез с аортальным отверстием

© В.Г. Дуденко, О.Г. Аврунин, М.Ю. Тымкович, В.В. Куринной, 2014

где x, y – координаты точки эллипса;
 a, b – полуоси эллипса;
 t – параметр уравнения.

Для поворота соответствующих координат эллипса (рис. 3) необходимо воспользоваться уравнением
 где x, y, x', y' – координаты точки эллипса до и после поворота; θ – угол поворота.

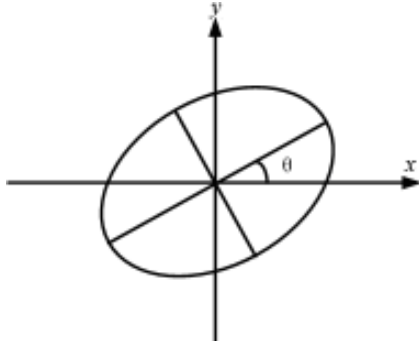


Рис. 3. Поворот эллипса

Указание центра структуры, описываемой эллипсом, вычисляется с помощью выражения

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

где x, y, x', y' – координаты точки эллипса до и после перемещения; cx, cy – координаты центра структуры, описываемой эллипсом.

Для описания целой структуры необходимо рассчитать поверхность, образованную массивом эллипсов (рис. 4).

$$\begin{cases} x' = x + cx \\ y' = y + cy, \end{cases}$$

Для построения поверхности диафрагмы с отверстиями следует осуществить следующее логическое решение: треугольники, находящиеся внутри аортального отверстия, исключить из модели. Треугольник включается в модель, если все его вершины находятся вне отверстия. Так как изначально модель диафрагмы состоит из 56 треугольников, исключение их из модели невозможно. Поэтому каждый треугольник решено подвергнуть рекурсивному разбиению на четыре треугольника по схеме, представленной на рис. 5. Так, исходный треугольник ACB раз-

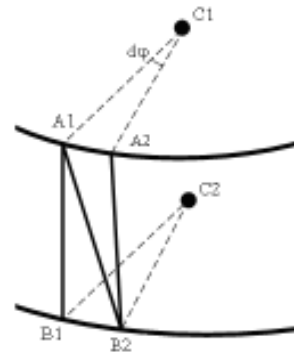


Рис. 4. Иллюстрация построения поверхности, образованной по двум эллипсам
 бивается на треугольники $AC_1A_1, A_1B_1B,$
 $C_1CB_1, C_1B_1A_1$.

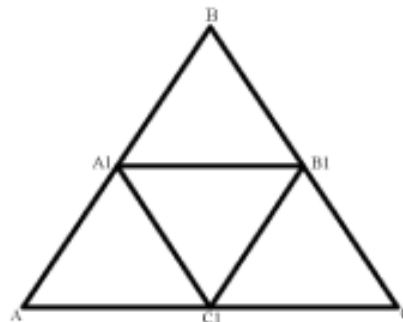


Рис. 5. Схема разбиения треугольников
 исходной модели диафрагмы

Дополнительные положения вершин треугольников вычисляются по формуле

$$\begin{cases} A_1 = A + \frac{1}{2}(B - A) \\ B_1 = B + \frac{1}{2}(C - B) \\ C_1 = A + \frac{1}{2}(C - A). \end{cases}$$

Разбиение осуществляется с помощью рекурсивного подхода, а его завершением служит условие на максимально допустимую площадь. Площадь треугольника вычисляется исходя из известного выражения, а именно половины модуля векторного произведения
 $S = [(B-A) \cdot (C-A)]/2$.

По полученным с помощью рекурсивного разбиения вершинам осуществляется проверка на входение каждой из вершин в отверстие. Для этого строится полигон, описывающий переходную поверхность между двумя

эллипсами, в горизонтальной плоскости вершины. Далее проверяется попадание проекции данной вершины в полигон. В результате рассчитывается отверстие на поверхности диафрагмы (рис. 6).

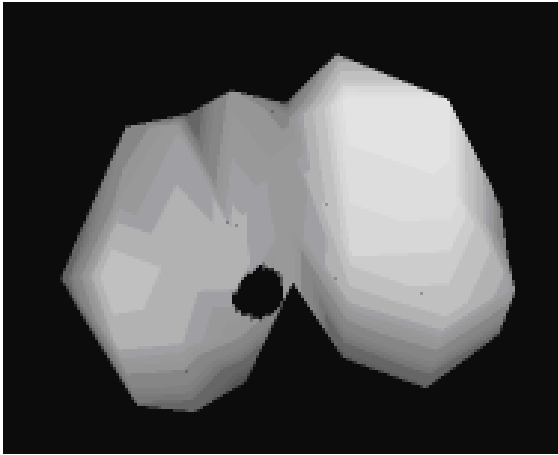


Рис. 6. Модель диафрагмы с рассчитанным отверстием

Визуализация осуществлялась средствами OpenGL – одной из наиболее мощных графических библиотек по визуализации трёхмерной компьютерной графики [3, 4].

На рис. 7 представлено изображение разработанного программного обеспечения, позволяющее строить индивидуальную модель диафрагмы человека с учётом анатомических отверстий.

Литература

1. Тымкович М.Ю. Использование DICOM-изображений в медицинских системах / М.Ю. Тымкович, О.Г. Аврунин, В.В. Семенец // Техн. электродинамика: Тематич. вып. – 2012. – Т. 4. – С. 178–183.
2. Аспекты выбора системы координат при изучении индивидуальной анатомической изменчивости строения человека / В.Г. Дуденко, О.Г. Аврунин, Н.Ю. Тимкович [и др.] // Український журнал клінічної та лабораторної медицини: Всеукр. наук.-мед. журн. – Луганськ. – 2013. – Т. 8, № 3. – С. 38–41.
3. Райт Р.С. OpenGL. Суперкнига / Р.С. Райт, В. Липчак. – М.: Вильямс, 2006. – 1040 с.
4. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики для профессионалов / Ф. Хилл. – СПб.: Питер, 2002. – 1088 с.

В.Г. Дуденко, О.Г. Аврунін, М.Ю. Тимкович, В.В. Курінний

ВРАХУВАННЯ АНАТОМІЧНИХ ОТВОРІВ ПРИ ПОБУДОВІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ДІАФРАГМИ

Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє будувати індивідуальну модель діафрагми людини, враховуючи анатомічні отвори. Персоналізована модель діафрагми людини дає можливість наочно оцінити діафрагму і вплив на неї травного, аортального отворів і отвору нижньої порожньої вени.

Ключові слова: комп'ютерна томографія, персоналізована модель діафрагми, анатомічні отвори.

V.G. Dudenko, O.G. Avrunin, M.Yu. Tymkovich, V.V. Kurinnoy

ACCOUNT OF ANATOMIC OPENINGS AT CONSTRUCTION OF COMPUTER MODEL OF DIAPHRAGM

Software, allowing to build the individual model of diaphragm of man taking into account the anatomic openings, is developed. The personalizational model of diaphragm of man enables evidently to estimate a diaphragm and influence on it of the oesophageal, aortic opening and opening of postcava.

Key words: computer tomography, diaphragm, anatomical openings.

Поступила 02.04.14

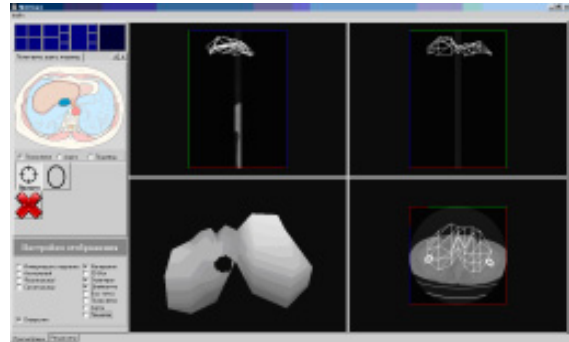


Рис. 7. Інтерфейс програмного забезпечення по побудові персоналізованої комп'ютерної моделі діафрагми з урахуванням анатомічних отворів

Персоналізована модель діафрагми людини дає можливість наочно оцінити діафрагму і вплив на неї травного, аортального отворів і отвору нижньої порожньої вени.

Перспективним для дальніших досліджень в даній області являється упрощення розрахунку отворів в діафрагмі шляхом модифікації алгоритму, що прискорить розрахунок і, як результат, зменшить затрати часу. Також немаловажним являється покращення точності розраховуваних отворів не тільки зменшенням розміру трикутників, але й іншими алгоритмічними методами.