

АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ СПОНГИОЗНЫХ ВИНТОВ НА ЗАГОТОВКЕ ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА

Медведев Д.А., Маркина С.Э.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, e-mail: denis.ustu@gmail.com

В настоящей статье рассмотрены особенности проведения операций при костном туберкулёзе. Проведен анализ предметной области и описана эпидемиологическая обстановка в Российской Федерации. В статье приведены современные способы устранения последствий костно-суставного туберкулёза. Также проведена критика рассмотренных процедур. Предложен альтернативный способ проведения операций с использованием технологий быстрого прототипирования. Для фиксации имплантатов был разработан алгоритм математического описания положения спонгиозных винтов на заготовке имплантата позвонка. Использован метод Оцу для сегментации и последующей бинаризации снимков компьютерного томографа. Произведено нахождение координат точек входа и точек окончания каналов под спонгиозные винты. В результатах статьи математически описано расположение винтов. Также проведено моделирование способа последующей фиксации имплантата при помощи спонгиозных винтов.

Ключевые слова: КТ снимки, костно-суставной туберкулёз, 3D моделирование, спонгиозные винты.

THE MATHEMATICAL ALGORITHM DESCRIBING POSITION OF THE SPONGY SCREWS ON THE WORKPIECE VERTEBRA IMPLANT

Medvedev D.A., Markina S.E.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin Ekaterinburg, Russia, e-mail: denis.ustu@gmail.com

This article describes the features of the operations for bone tuberculosis. The analysis of the subject area and described the epidemiological situation in the Russian Federation. This article describes modern methods of elimination of the consequences of osteoarticular tuberculosis. Also, held criticism of the considered procedures. An alternative method of conducting transactions using rapid prototyping technologies. For fixation of implants, a mathematical algorithm to describe the position of spongy screws on the workpiece of the implant to the vertebra has been developed. Used Otsu method to segment and subsequent binarization of images of a computer tomograph. Established the coordinates of the entry points and the ends of the channel for the spongy screws. The results of this article mathematically describe the location of the screws. Also the simulation method subsequent fixation of the implant using spongy screws.

Keywords: CT scans, osteoarticular tuberculosis, 3D modeling, spongy screws.

В условиях современной эпидемиологической обстановки костно-суставной туберкулез занимает четвертое место в структуре заболеваемости и болезненности внелегочным туберкулезом в РФ и составляет 8-12% по отношению к общему числу туберкулезных заболеваний.

Туберкулез костей и суставов - наиболее распространенная форма хирургического туберкулеза. Процесс может развиваться во всех костях и суставах, но чаще он наблюдается в позвонках и крупных суставах: тазобедренном, коленном, плечевом, локтевом и лучезапястном.

В настоящее время существует большое количество способов первичной стабилизации поврежденного сегмента позвоночника: транспедикулярная фиксация, передние, задние и комбинация передних и задних методик. Сегодня наиболее приемлемым оперативным вмешательством на поврежденном отделе позвоночника является сочетание заднего спондилодеза и переднего корпородеза с применением современных металлических

конструкций [1]. Совершенно ясно, что при выполнении такой внутренней фиксации удается добиться наилучшей стабилизации поврежденного сегмента позвоночника.

Тем не менее у этих процедур есть явный недостаток, который заключается в том, что таким способом восстанавливается только опорная функция, а биомеханическая функция безвозвратно утрачивается. Также другим негативным фактором является то, что врачи не могут узнать точные размеры необходимого имплантата до операции, поэтому подбор имплантата производится прямо во время операции, пока пациент находится под воздействием анестезии.

Исходя из этого было предложено моделировать имплантаты заранее на основе снимков пациента, полученных с компьютерного томографа и использовать технологию быстрого прототипирования для их изготовления.

Важным моментом является способ последующей фиксации полученного имплантата. Если фиксация будет ненадежной под действием нагрузок может произойти смещение имплантата, что повлечёт за собой травмы внутренних органов. Для предотвращения такого исхода событий необходимо добавить на модель имплантата каналы под спонгиозные винты, рассчитанные под конкретного пациента для наилучшей фиксации.

Цель исследования

Разработать алгоритм математического описания положения спонгиозных винтов на заготовке имплантата позвонка, построенного на основе снимков компьютерного томографа для последующей печати с использованием технологии быстрого прототипирования.

Материал и методы исследования

Основой для проведения исследования является набор снимков компьютерной томографии пациента и заготовка имплантата созданная с использованием программного продукта AutoCAD.

Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Первым шагом стоит выделение поврежденного сегмента позвоночника. Для выполнения задачи был использован программный продукт MeVisLab [2];
2. Следующим шагом необходимо произвести сегментацию изображения для облегчения последующего анализа;
3. Далее производится определение координат точек входа винтов у остистых отростков;
4. Следующим шагом производится расчёт координат окончания каналов под спонгиозные винты;
5. Последним этапом производится объединение заготовки с пластиной для последующей фиксации и добавление каналов под спонгиозные винты.

Расчёт положения каналов под спонгиозные винты

Тело модели состоит из трёх параллельных поверхностей: краниальной; медиальной и каудальной.

Схема полученных поверхностей в 3D-проекции представлена на рисунке 1.

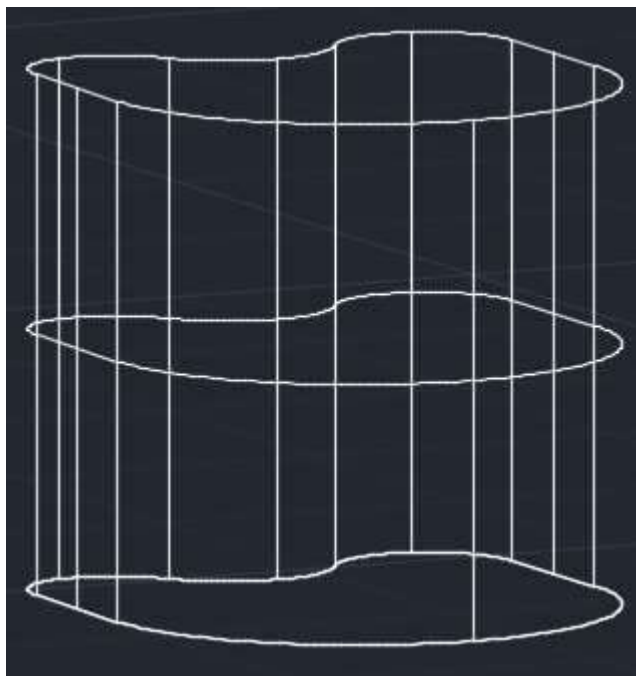


Рисунок 1 – Схема модели в 3D-проекции

После построения заготовки необходимо создать каналы для последующей фиксации имплантата при помощи спонгиозных винтов. Для этого нам необходимо рассчитать две координаты для каждого из винтов:

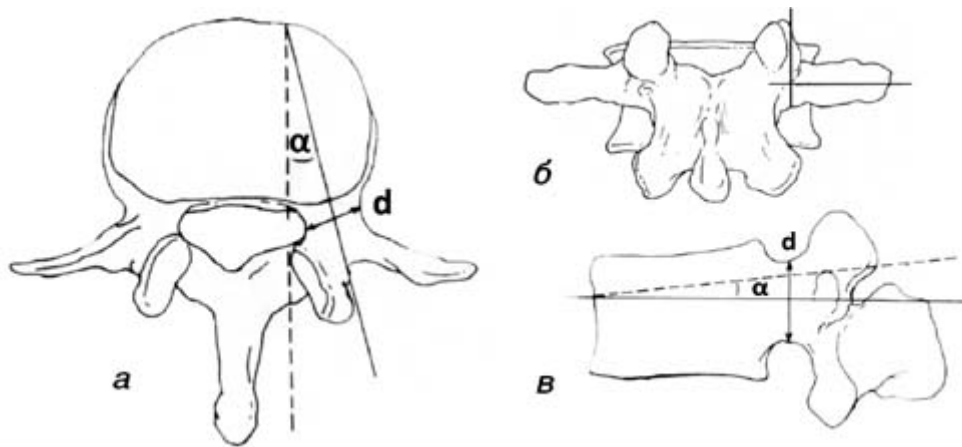
- а) точку входа винта у остистого отростка;
- б) точку окончания канала под винт.

Для начала произведём расчёт точек входа в корень дуги для спонгиозных винтов. Для этого используются следующие анатомические ориентиры:

- а) поперечный отросток, обычно соответствующий уровню корня дуги в поясничном отделе;
- б) каудальная часть нижней суставной фасетки;
- в) гребень в месте соединения суставного и поперечного отростков с пластинкой дуги.

Для расчёта, необходимо узнать следующие анатомические параметры: горизонтальный и вертикальный диаметры корня дуги; поперечный педикулярный угол

между линией, параллельной середине позвонка, и линии оси корня дуги; сагиттальный педикулярный угол между линией оси корня дуги и верхней замыкательной пластинкой тела имплантата [3]. Данные параметры показаны на рисунке 2.



- а) траектория установки винта в аксиальной плоскости;
- б) проекция точки введения винта на задние отделы позвоночника;
- в) траектория установки винта в сагиттальной плоскости.

Рисунок 2 – Основные анатомические параметры

В процессе исследования было статистически установлено, что угол направления винта в грудном отделе позвоночника равен 30° .

Расчёт горизонтального диаметра корня дуги производится по снимкам компьютерного томографа. Но для автоматизации проведения замеров их необходимо подготовить.

Для обработки и анализа изображений применяется сегментация, т.е. разделение изображения на области, для которых выполняется определенный критерий однородности, например, выделение на изображении областей приблизительно одинаковой яркости. Понятие области изображения используется для определения связной группы элементов изображения, имеющих определенный общий признак (свойство).

Один из основных и простых способов — это построение сегментации с помощью порога. Порог — это признак (свойство), которое помогает разделить искомый сигнал на классы. Операция порогового разделения заключается в сопоставлении значения яркости каждого пикселя изображения с заданным значением порога [4].

В процессе исследования для сегментации изображения выбран метод Оцу

С помощью данного метода вычисляется порог t , минимизирующий среднюю ошибку сегментации, т.е. среднюю ошибку от принятия решения о принадлежности пикселей изображения объекту или фону. Значения яркостей пикселей изображения можно рассматривать как случайные величины, а их гистограмму – как оценку плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный (в смысле минимума ошибки) порог для сегментации изображения на два класса c_0 и c_1 (объекты и фон) [5].

В дальнейших рассуждениях предполагаем, что:

- изображение представляется с помощью L уровней яркости;
- h_i – число элементов изображения, имеющих яркость i , $i = 0, 1, \dots, L-1$;
- N – общее число пикселей на изображении;
- гистограмма изображения является нормализованной и ее можно рассматривать как распределение вероятностей.

Общая формула вероятности

$$p_i = \frac{h_i}{N}, i = 0, 1, \dots, L - 1. \quad (1)$$

Сумма всех вероятностей вычисляется по формуле

$$\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1. \quad (2)$$

Далее используется гистограмма распределения значений яркости пикселей растрового изображения. Гистограмма строится по значениям

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad (3)$$

где N – это общее кол-во пикселей на изображении;

n_i – это кол-во пикселей с уровнем яркости i .

Диапазон яркостей делится на два класса с помощью порогового значения уровня яркости k , k — целое значение от 0 до L . Каждому классу соответствуют относительные частоты ω_0, ω_1 [4]

$$\omega_0(k) = \sum_{i=1}^k p_i. \quad (4)$$

$$\omega_1(k) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega_0(k). \quad (5)$$

Средние уровни для каждого из двух классов изображения

$$\mu_0(k) = \sum_{i=1}^k \frac{ip_i}{\omega_0}. \quad (6)$$

$$\mu_1(k) = \sum_{i=k+1}^L \frac{ip_i}{\omega_1}. \quad (7)$$

Далее вычисляется максимальное значение оценки качества разделения изображения на две части

$$\eta(k) = \max_{k=1}^{L-1} \left(\frac{\sigma_{\text{кл}}^2(k)}{\sigma_{\text{общ}}^2} \right), \quad (8)$$

где $(\sigma_{\text{кл}})^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$ – межклассовая дисперсия;

$(\sigma_{\text{общ}})^2$ –общая дисперсия для всего изображения целиком.

После сегментации измеряем размер полученной области и получаем горизонтальный диаметр корня дуги. Таким же образом вычисляем вертикальный диаметр корня дуги и находим точку входа спонгиозных винтов. Повторяем все действия для противоположной стороны позвонка. В итоге получаем координаты точки пересечения двух диаметров.

Следующим шагом необходимо вычислить точку примерного окончания каналов под винты. Для этого в медиальной плоскости построим отрезок соединяющий середину дуги образованной позвоночным отверстием с серединой дуги в передней части имплантата. Отложим от его центра ещё два отрезка к передней части имплантата под углом в 45° .

Соединив середины полученных отрезков и середину дуги в передней части имплантата получим равнобедренный треугольник ABC.

По результатам статистических данных уровень окончания винтов примерно равен одной пятой от расстояния между медиальной и краниальной плоскостью. Созданная проекция этого треугольника на данный уровень представлена на рисунке 3. Полученные точки B и C и будут являться точками окончания каналов под спонгиозные винты.

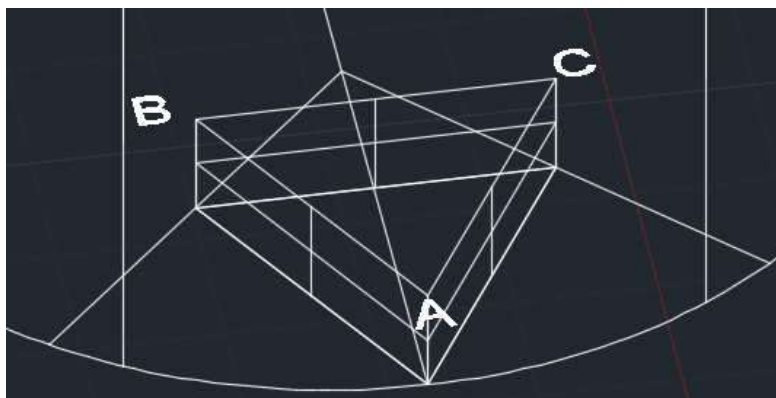


Рисунок 3 – Полученный треугольник ABC

Пример последующей фиксации имплантата

В процессе работы был смоделирован способ последующей фиксации имплантата (рисунок 4-5).

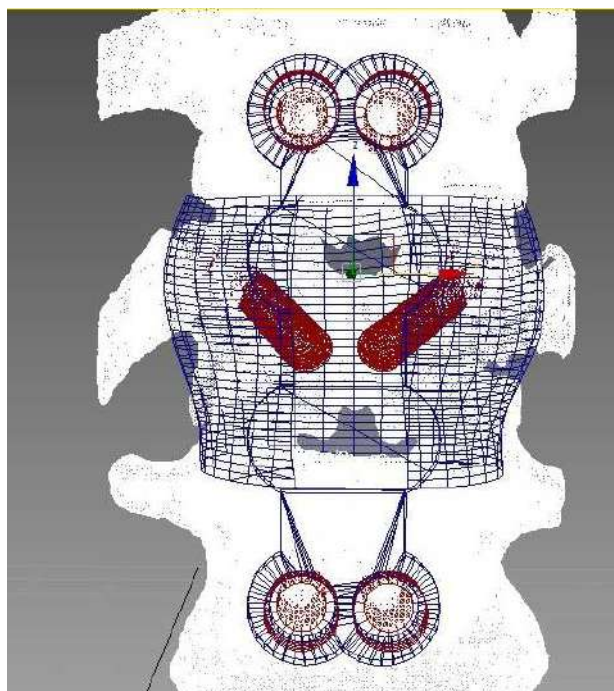


Рисунок 4 – пример фиксации имплантата

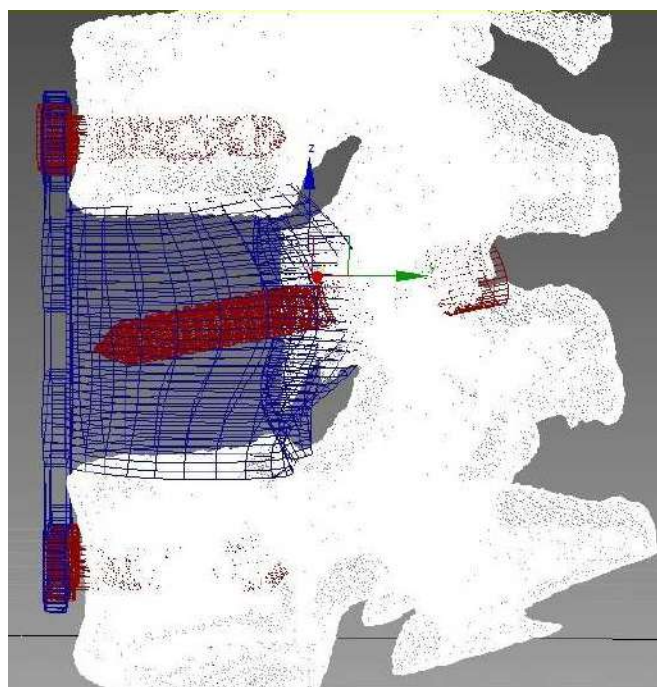


Рисунок 5 – пример фиксации имплантата

Выводы

Таким образом разработан алгоритм математического описания положения спонгиозных винтов на основе снимков компьютерного томографа. Проведен анализ предметной области и указаны недостатки современного способа проведения заднего спондилодеза и переднего корпородеза. В результате проделанной работы была получена модель последующей фиксации имплантата.

Список литературы

1. Комбинированная передняя стабилизация неосложненных повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cardio-tomsk.ru/attachments/article/266/SMJ-3-1-2010.pdf>.
2. Маркина С.Э., Памятных В.Е. О возможностях компьютерной визуализации медицинских данных в программе MeVisLab, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/forum2012/pdf/2888.pdf>.
3. Транспедикулярная фиксация поясничного отдела позвоночника при его деформациях и поражениях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=5249>.
4. Сегментация изображения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/128768/>.
5. Методы бинаризации медицинских изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/8617/ТУ-1204_Методы бинаризации медицинских изображений.pdf.

References

1. Combined anterior stabilization of uncomplicated of thoracic and lumbar spine lesions [electronic resource]. – Mode of access: <http://cardio-tomsk.ru/attachments/article/266/SMJ-3-1-2010.pdf>.
2. Markina S.E., Pamyatnykh V.Y. About possibilities of computer visualization of the medical data in MeVisLab program, [electronic resource]. – Mode of access: <http://www.rae.ru/forum2012/pdf/2888.pdf>.
3. Mazurenka A.N., Lumbar transpedicular fixation in deformities and degenerative disease [electronic resource]. – Mode of access: <http://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=5249>.
4. Image segmentation [electronic resource]. – Mode of access: <http://habrahabr.ru/post/128768/>.
5. Methods binarization of medical images [electronic resource]. – Mode of access: https://storage.tusur.ru/files/8617/ТУ-1204_Методы бинаризации медицинских изображений.pdf.