УДК 611.91

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА ТИТАНОВОГО ПРОТЕЗА СЛУХОВЫХ КОСТОЧЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Смольская Т.С., Друц Э.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач П.В.. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрен протез слуховых косточек, предназначенный для замены молоточка, наковальни и стремечка с сохранением его основания. Особое внимание уделено методам расчета расстояния между плоскостями барабанной перепонки и основанием стремечка для точной подгонки импланта. Сравниваются три метода вычисления минимального расстояния: полный перебор, kd-дерево и Octree.

Ключевые слова: слуховые косточки, титановый имплант, kd-дерево, расчет расстояния.

Введение. В данной статье представлен полный протез слуховых косточек, заменяющий молоточек, наковальню и стремечко, но сохраняющий его основание. Целью работы является исследование эффективности методов расчета расстояния между барабанной перепонкой и основанием стремечка для точной подгонки титанового протеза слуховых косточек. В работе сравниваются три вычислительных подхода (полный перебор, kd-дерево и Octree) с точки зрения точности и скорости вычислений, а также обосновывается применение наиболее оптимального метода для автоматизации хирургического планирования.

Основная часть. Имплант, используемый в данном исследовании, представляет собой полный протез слуховых косточек (рисунок 1), который заменяет молоточек, наковальню и стремечко, оставляя лишь часть основания стремечка.

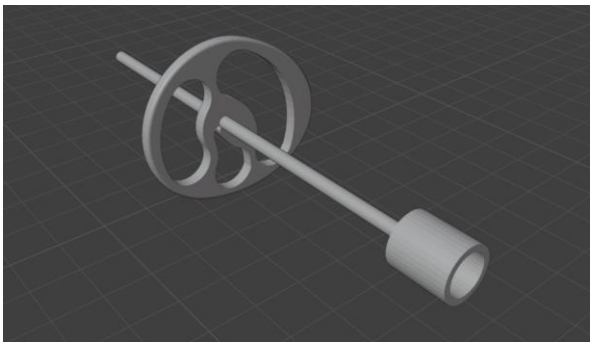

Рисунок 1 – Полный протез слуховых косточек

Его основное назначение – восстановление передачи звуковых колебаний от барабанной перепонки к внутреннему уху, что особенно важно для пациентов с тяжелыми повреждениями слуховой системы.

Конструкция импланта разработана таким образом, чтобы максимально точно имитировать функцию естественных слуховых косточек, обеспечивая эффективную передачу звуковых колебаний. Она включает в себя несколько ключевых элементов:

1 Опорная площадка – располагается на барабанной перепонке, обеспечивая стабильный контакт с мембраной для эффективной передачи вибраций. Её форма адаптирована для равномерного распределения звукового давления.

2 Центральный стержень – соединяет опорную площадку с ножкой и придаёт конструкции жёсткость. Это важно для поддержания точной передачи механической энергии от барабанной перепонки к внутреннему уху.

3 Ножка для фиксации на основании стремечка – обеспечивает надежное соединение импланта с уцелевшей частью стремечка, позволяя передавать звуковые колебания непосредственно во внутреннее ухо [1].

Имплант изготавливается из титана, поскольку этот материал обладает рядом уникальных свойств, делающих его идеальным для использования в медицинской практике, в частности для реконструкции слуховых косточек.

Для точного позиционирования импланта необходимо определить расстояние между двумя плоскостями:

– первой плоскостью, расположенной на уровне барабанной перепонки, где будет установлена опорная площадка импланта;

– второй плоскостью, соответствующей основанию стремечка, на котором фиксируется нижняя часть импланта.

Определение расстояния между этими плоскостями является ключевым этапом, так как от точности измерения зависит корректность подгонки импланта. Существует несколько методов нахождения расстояния между плоскостями [2]:

1 Метод полного перебора заключается в том, что мы берем каждую точку первой плоскости и вычисляем расстояние до всех точек второй плоскости, затем выбираем минимальное значение. Этот метод обеспечивает наибольшую точность, но требует значительных вычислительных ресурсов при большом количестве точек.

Алгоритм:

– перебор всех точек первой плоскости;

– для каждой точки вычисление расстояния до всех точек второй плоскости;

– находение минимального расстояния среди всех пар точек.

Плюсы метода: гарантированно точный результат. Минусы метода: низкая вычислительная эффективность при большом количестве точек.

2 Метод kd-дерева. Kd-дерево – это структура данных, которая позволяет ускорить поиск ближайших точек. В данном методе строится дерево из точек одной плоскости, а затем для каждой точки второй плоскости ищется ближайший сосед.

Алгоритм:

– создание kd-дерева на основе точек одной плоскости;

– для каждой точки второй плоскости нахождение ближайшей точки в kd-дереве;

– определение минимального расстояния.

Плюсы метода: значительно быстрее полного перебора; легко реализуется с помощью существующих библиотек. Минусы метода: может давать небольшие погрешности из-за структуры разбиения.

3 Метод Octree. Octree – это иерархическая структура, разделяющая пространство на кубы разного уровня детализации. Используется для быстрого поиска ближайших точек за счет уменьшения объема поиска.

Алгоритм:

– разделение пространства на вложенные кубические ячейки;

– нахождение ближайшей точки в соответствующих ячейках;

– вычисление минимального расстояния.

Для реализации этого метода можно использовать библиотеку pykdtree, но в Python нет встроенной реализации Octree, поэтому можно использовать кастомные алгоритмы или библиотеки для работы с 3D-данными.

Плюсы: хорошая скорость работы на больших данных; эффективен для работы с 3D-моделями. Минусы метода: сложнее в реализации; требует дополнительных библиотек.

Для реализации расчетов можно использовать следующие библиотеки:

– numpy – для работы с массивами и математическими операциями;

– scipy.spatial.KDTree – для ускоренного поиска ближайших точек с помощью kd-дерева;

– open3d – для работы с 3D-моделями, облаками точек и поиска ближайших точек с использованием Octree.

Таким образом, был проведен расчет расстояния между барабанной перепонкой и стремечком для точного подбора длины титанового импланта. Полученные значения минимального расстояния между двух моделей и время расчета каждого метода представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета минимального расстояния между двумя точками и время расчета

Метод расчета	Минимальное расстояние, мм	Время расчета, сек
1. Полный перебор	4,609	56,000
2. Kd-дерево	4,609	2,000
3. Octree	4,609	5,000

По результатам расчета видно, что минимальное расстояние получилось одинаковым (4,609 мм), однако методы kd-дерева и Octree позволяют значительно ускорить процесс без потери точности, что делает их предпочтительными для работы с 3D-моделями высокой плотности.

На основе полученных данных выполнена подгонка длины импланта по рассчитанному расстоянию, после чего будет проведена проверка на пересечения.

Таким образом, предложенный подход позволяет:

– точно подобрать длину импланта, минимизируя необходимость хирургической подгонки;

– ускорить расчет расстояний между анатомическими структурами;

– автоматизировать процесс подготовки 3D-модели для хирургического планирования.

Методика может быть использована для дальнейшего совершенствования импланта и улучшения клинических результатов при его установке.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило эффективность использования титанового протеза слуховых косточек для восстановления звукопередачи у пациентов с повреждениями среднего уха. Разработанная конструкция импланта обеспечивает стабильную фиксацию и точную передачу колебаний от барабанной перепонки к внутреннему уху.

Сравнение методов расчета расстояния между анатомическими структурами показало, что алгоритмы kd-дерева и Octree позволяют достичь той же точности, что и полный перебор, но с существенным сокращением времени вычислений. Это делает их перспективными для применения в автоматизированном хирургическом планировании.

Список литературы

1. *Plecko, M., et al. Osseointegration of novel titanium implant surfaces: A comparative in vivo study / Acta Biomaterialia, 2012. – 8(9), 3507-3514.*

2. *Fischler, M. A., & Bolles, R. C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography / Communications of the ACM, 1981. – 24(6), 381-395.*

UDC 611.91

OPTIMIZATION OF TITANIUM AUDITORY OSSICLE PROSTHESIS SELECTION USING COMPUTATIONAL GEOMETRY METHODS

Smolskaya T.S, Druts E.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach P.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. The study examines a prosthesis of the auditory ossicles designed to replace the malleus, incus, and stapes while preserving its base. Particular attention is paid to methods for calculating the distance between the tympanic membrane plane and the stapes base for precise implant fitting. Three methods for computing the minimum distance are compared: brute-force search, kd-tree, and Octree.

Keywords: auditory ossicles, titanium implant, kd-tree, distance calculation.