

Исследование набора исходных данных для разработки системы поддержки принятия решений подбора индивидуальной приемной гильзы протеза голени

А. Р. Суфэльфа¹, Д. И. Каплун²
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова
¹sufelfick@gmail.com, ²dikaplun@etu.ru

М. В. Черникова
ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России
Санкт-Петербург, Россия
chernikovamarinavl@gmail.com

Аннотация. В статье исследуются электронно-геометрические модели культей голени, полученные с использованием 3D сканера, как исходные данные для разработки системы поддержки принятия решений для подбора индивидуальных модулей протезов нижних конечностей. Рассмотрены существующие решения работы с трехмерными электронно-геометрическими моделями и исследования в области протезирования, позволяющие проектировать приемные гильзы протезов. Выделены основные параметры исходных моделей для дальнейшей работы.

Ключевые слова: приемная гильза; протезирование; электронно-геометрическая модель; система поддержки принятия решений

I. ВВЕДЕНИЕ

Объем мирового рынка протезирования и ортопедии в 2020 году оценивался в 6,11 млрд долларов США и, как ожидается, будет расти совокупными годовыми темпами роста (CAGR) на 4,2 % в период с 2021 по 2028 гг. Значительное число ампутаций, связанных с сосудистыми заболеваниями и диабетом, растущее число случаев спортивных травм и дорожно-транспортных происшествий, и растущая распространенность остеосаркомы во всем мире могут стать движущей силой мирового рынка протезирования. Во время пандемии многие регулирующие органы и неправительственные организации отреагировали на изменение сценария развития данной отрасли. Например, Национальная ассоциация США по развитию ортопедии и протезированию (NAAOP) написала открытое письмо всем губернаторам штатов от 19 марта 2020 г., требуя продолжения услуг по протезированию и ортопедическому уходу в рамках основных преимуществ для здоровья, к которым пациенты должны иметь доступ во время пандемии [1].

A. Цели и задачи исследования

Современное протезирование в значительной степени опирается на технологии обработки визуальных данных, такие как 3D-сканирование, автоматизированное проектирование (САПР) и 3D-печать на всех этапах – от приема пациента до изготовления протеза. Несмотря на интенсивное развитие этих технологий, после того, как 3D-модель культи будет получена с помощью 3D-сканирования, ее надлежащая ориентация и позиционирование остаются в значительной степени ответственностью эксперта, и требует ручных усилий.

В настоящее время нет программного обеспечения, доступного для загрузки оригинальной 3D-модели культи, позволяющей немедленно предложить протезисту шаблон приемной гильзы протеза. Исходя из вышесказанного, применение комплексного подхода для автоматической предобработки трехмерной модели входных данных – является актуальной задачей.

B. Существующий задел

Предобработка моделей значительно снижает нагрузку на квалифицированный персонал. На данный момент нами разработан и протестирован алгоритм модуля полуавтоматического ориентирования трехмерной модели культи голени в пространстве декартовых координат. Алгоритм с использованием псевдокода представлен на рис. 1.

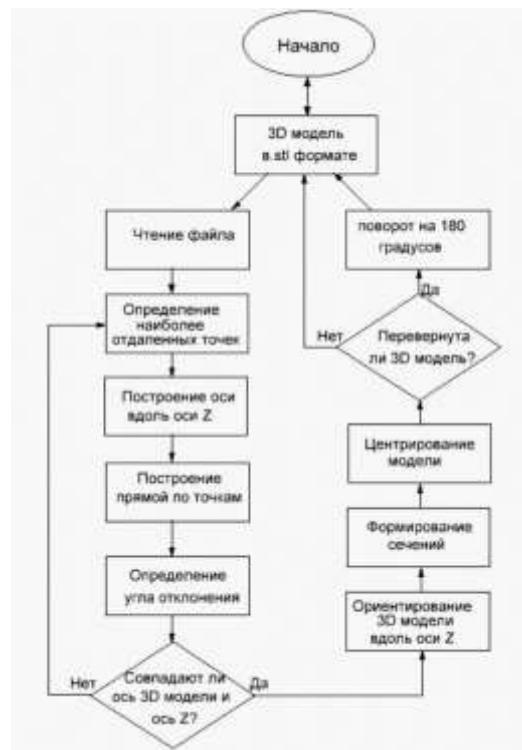


Рис. 1. Алгоритм ориентирования электронно-геометрической модели

Разработанный алгоритм, учитывая все присущие ему ограничения, может быть использован в качестве инструмента поддержки принятия решений для протезиста [2]. Благодаря данному алгоритму происходит ориентирование модели культы голени вдоль оси z.

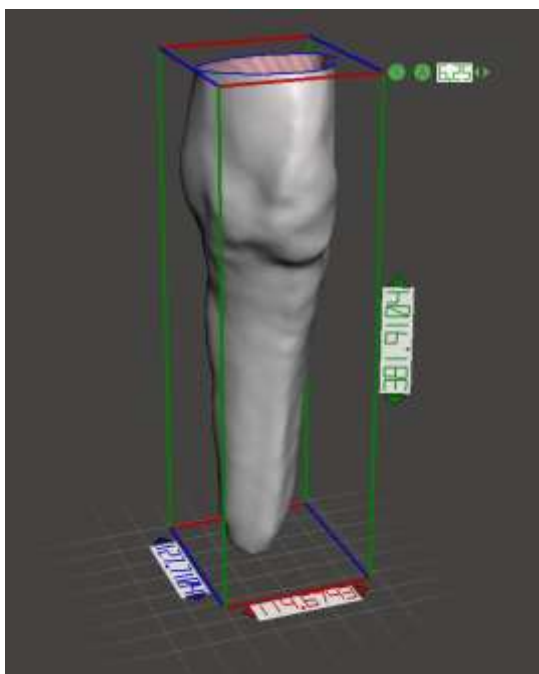


Рис. 2. Внешний вид ЭГМ

На рис. 2 приведен пример исходной модели с отраженной осью через крайние точки.

После этого мы получаем модель, выровненную вдоль осей координат. Однако, процесс создания приемной гильзы протеза нижней конечности трудоемок и длителен. Предлагается разработать систему поддержки принятия решений для упрощения процесса формирования приемных гильз протезов. Для этого планируется создание нескольких вариантов макетов приемных гильз под типовые электронно-геометрические модели культы голени. Подбор наиболее подходящего макета для приемной гильзы модели конкретной культы будет осуществлен с использованием разрабатываемой системы поддержки принятия решений.

II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения основных типовых макетов приемных гильз, необходимо выделить значимые параметры моделей культы. Поиск параметров производится по экспериментальным анонимным данным – электронно-геометрическим моделям, которые были получены Федеральным научным центром реабилитации инвалидов имени Г. А. Альбрехта для исследований, с использованием трехмерного оптического сканера. Протокол исследования был рассмотрен и одобрен местным экспертным коллегиальным советом до начала исследования.

При помощи вышеописанного полуавтоматического алгоритма, происходит ориентация и перемещение относительно системы декартовых координат. Полученные модели сохраняются в полигональном формате в stl. Общие параметры моделей представлены в таблице.

ТАБЛИЦА I ПАРАМЕТРЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

№ п/п	Сторона конечности	Тип модели	Габаритные размеры, x/y/z	Размер файла, КБ
1	левая	культя	111/382/127	977
2	правая	культя	114/248/131	977
3	левая	гильза	129/241/149	5 265
4	правая	гильза	103/168/109	1 062
5	правая	гильза	115/166/109	5 497
6	левая	культя	101/166/114	5 480
7	левая	гильза	134/329/129	977
8	левая	культя	191/370/157	558
9	левая	культя	111/231/102	978
10	правая	культя	124/290/137	5 289
11	левая	культя	129/277/151	977
12	левая	культя	137/235/118	977
13	левая	культя	133/235/151	1 035
14	левая	гильза	103/214/108	5 452
15	правая	гильза	134/240/127	977
16	правая	культя	177/308/155	975

Исходные данные представлены в 16 электронно-геометрических моделях, из них 10 – сканы культы, а 6 – сканы приемных гильз протезов. Все пациенты предоставили свое письменное информированное согласие до включения в исследование.

Среди существующих систем, позволяющих оценить параметры электронно-геометрических моделей стоит отметить – LEDAS Labs [3], один из проектов этой компании посвящен сравнению трехмерных моделей.

Система, которая строится в рамках этого проекта, обнаруживает и визуализирует все различия между геометрическими моделями, она также способна отслеживать модификации, которым подвергается модель в течение ее жизненного цикла.

Похожую систему разработала компания CAPVIDIA [4], у них сравнение моделей происходит в соответствии со следующими параметрами:

- Обнаружение ошибок перевода.
- Геометрические / конструктивные дефекты или изменения.
- Дефекты или изменения качества.
- Изменения: Преднамеренные или непреднамеренные.
- Структура детали или сборки.

Кроме того, стоит отметить компанию TurboSquid, Inc [5]. Их решение позволяет выделить в 3D-модели, совпадающие или копланарные грани – это когда две или более граней, или полигонов занимают одно и то же пространство и представляют одну и ту же поверхность. Однако такой подход очень трудоемок и длителен.

Планируется провести исследование для определения основных параметров культи и их значимых параметров. На рис. 3 представлен внешний вид электронно-геометрической модели культы голени с размеченными обмерами обхватов и длиной модели.

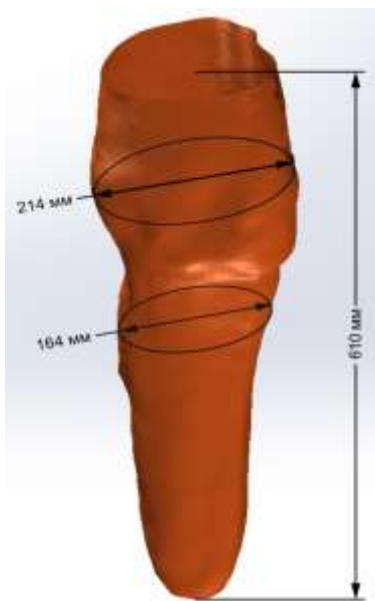


Рис. 3. Схематичное измерение диаметра культи в сечении

На данном этапе однозначно можно выделить следующие параметры: сторона конечности, тип модели, габаритные размеры, периметр культи в сечении, длина культи, форма сечения культи в плоскости ZX.

Стоит отметить исследование [6–7], где приводится анализ конечных элементов для проектирования приемных гильз протезов с целью дополнить процесс принятия

клинических решений по соответствующему проектированию и изготовлению протезов для пациентов с ампутированными конечностями. Однако клинический перевод не был достигнут отчасти из-за длительного времени решения и сложности, связанной с разработкой модели. А, также, исследование [8], авторы которого разработали систему-ассистента для проектирования приемной гильзы протеза конечностей.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В перспективе разработки системы поддержки принятия решений, лежат следующие задачи обработки и анализа исходных электронно-геометрических моделей культей голени.

1. Найти отклонения модели полученной со скана культи, от шаблона позитива приемной гильзы протеза.
2. Оценить различия моделей и выявить необходимые параметры приемной гильзы в конкретном случае.

Результаты проекта могут быть использованы при проектировании индивидуальных модулей протезов нижних конечностей. Разрабатываемая система будет предлагать врачу-протезисту наиболее подходящий для конкретного пациента вариант приемной гильзы протеза, с учетом особенностей формы культи и состояния здоровья клиента, поможет сэкономить время эксперта и обеспечить, по крайней мере, предварительную обработку модели приемной гильзы протеза.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Федеральному научному центру реабилитации инвалидов им Г.А. Альбрехта, Институту протезирования и ортезирования за сотрудничество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Prosthetics & Orthotics Market Size Report, 2021-2028 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/prosthetics-orthotics-market>
- [2] Dmitry Kaplun, Mikhail Golovin, Alisa Sufelfa, Oskar Sachenkov, Konstantin Shcherbina, Vladimir Yankovskiy, Eugeny Skrebenkov, Oleg A. Markelov and Mikhail I. Bogachev. Three-Dimensional (3D) Model-Based Lower Limb Stump Automatic Orientation, Applied Science, Web of Science, doi: 10.3390/app10093253, 2020 no 10, pp. 3253.
- [3] Ledas, 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ledas.com/en/lgc/>
- [4] CAPVIDIA, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.capvidia.com/blog/how-to-compare-3d-cad-models>
- [5] TURBOSQUID 3D RESOURCES 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://resources.turbosquid.com/training/modeling/coincident-faces/>
- [6] Steer J.W., Worsley P.R., Browne M. et al. Predictive prosthetic socket design: part 1 – population-based evaluation of transtibial prosthetic sockets by FEA-driven surrogate modelling, Biomech Model Mechanobiol, 2020 no 19, pp. 1331–1346.
- [7] Steer J.W., Grudniewski P.A., Browne M. et al. Predictive prosthetic socket design: part 2 – generating person-specific candidate designs using multi-objective genetic algorithms, Biomech Model Mechanobiol, 2020 no 19, pp. 1347–1360.
- [8] Giorgio Colombo, Giancarlo Facoetti and Stella Gabbiadini, Caterina Rizzi. Socket modelling assistant for prosthesis design, International Journal of Computer Aided Engineering and Technology, 2013 Vol. 5(2/3), pp. 216–241.