

4. Крон, Дж. Глубокое обучение в картинках. Визуальный гид по искусственному интеллекту / Дж. Крон, Гр. Бейлевельд, Б. Аглаэ. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 400 с.
5. Николенко, С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 476 с.

УДК 004.9:616.724

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ НАВЫКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНДОПРОТЕЗОВ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА

Ж. В. Кадолич, А. А. Кашперов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

А. П. Бобович

*Агентство развития и содействия инвестициям, г. Гомель,
Республика Беларусь*

Представлены результаты испытания на нагружение мышечкового отростка нижней челюсти и суставной ямки височной кости височно-нижнечелюстного эндопротеза. На основании испытаний в качестве материала для изготовления первого элемента данного эндопротеза рекомендовано использовать титановый сплав, а для изготовления второго элемента – сверхвысокомолекулярный полиэтилен, что согласуется с наработками в этой области.

Ключевые слова: височно-нижнечелюстной сустав, индивидуальное эндопротезирование, трехмерные технологии.

EXPERIENCE IN APPLYING ENGINEERING SKILLS FOR THE PRODUCTION OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT ENDOPROSTHESES

Zh. V. Kadolich, A. A. Kashperov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A. P. Bobovich

*Development and Investment Promotion Agency, Gomel,
the Republic of Belarus*

The article presents the results of loading tests were carried out of the condylar process of lower jaw and the articular fossa of temporal bone of temporomandibular joint. Based on tests it is recommended to use titanium alloy as a material for the manufacture of the first element of this endoprosthesis, and ultra-high molecular weight polyethylene for the manufacture of the second element, which is consistent with the best practices in this area.

Keywords: temporomandibular joint, individual endoprosthesis, three-dimensional technologies.

Височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) – сустав, позволяющий человеку открывать и закрывать нижнюю челюсть [1]. Конструкция тотальных эндопротезов ВНЧС состоит из таких структурных элементов, как суставная ямка височной кости, мышечковый отросток нижней челюсти и элементы крепления. Следует отметить, что в медицинской практике проводятся альтернативные эндопротезированию операции – удаление пораженной части костной структуры и последующее сращивание.

Очевидно, что подобная методика лечения даже при условии положительного исхода операции существенно ухудшает качество жизни пациента, что повышает актуальность работ, связанных с новыми методами производства имплантатов [2].

В настоящее время эндопротез ВНЧС возможно изготовить двумя способами, один из которых связан с использованием 3D-печати и согласуется с идеей индивидуального эндопротезирования, поскольку в различные возрастные периоды ВНЧС имеет свои особенности строения. Как следствие, различия в строении сустава в разный период жизни и определяют внешний вид требуемого для имплантации эндопротеза ВНЧС [2]. Трехмерная печать решает этот вопрос, позволяя создать индивидуальный эндопротез в кратчайшие сроки.

Изготовление тотальных эндопротезов ВНЧС на практике включает в себя несколько этапов. В частности, в последнее время используют технологию CAD/CAM, которая позволяет на основе компьютерного изображения или стереолитографической модели изготовить индивидуальные эндопротезы ВНЧС [2, 3]. Следует отметить, что любой эндопротез не должен добавлять массы тела больному. Современные программы помогают узнать массу эндопротеза (рис. 1), превышение которой – аргумент для последующей оптимизации модели. Важно отметить, что результаты работы должны обязательно быть согласованы с лечащим врачом.

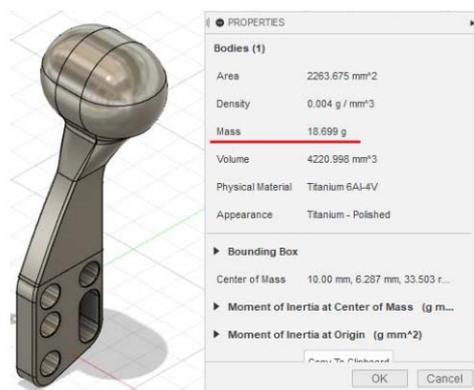


Рис. 1. Определение массы мышцелкового отростка нижней челюсти из титанового сплава в программе Fusion 360

Легкость и прочность эндопротеза являются характеристиками, которые инженер может подвергнуть проверке самостоятельно. Опишем более подробно данный этап. При оценке прочности эндопротеза в программе Fusion 360 к частям эндопротеза, пребывающим под нагрузкой, прикладывается определенная сила и оценивается итоговый результат. Максимальная функциональная нагрузка в ВНЧС возникает при смыкании моляров и составляет в среднем 265 Н (около 27 кг), при смыкании резцов – 160 Н (около 16 кг). Такая разница обуславливает необходимость использования для эндопротезов ВНЧС материалов с низким коэффициентом трения. При выборе материалов для проверки эндопротеза на прочность в работе был применен вариант пары трения «металл–полимер». Для мышцелкового отростка нижней челюсти в выборку материалов для проверки вошли титановый сплав и нержавеющая сталь. Для суставной ямки нижней челюсти выбраны сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и силиконовый каучук. Коэффициент запаса прочности принимали равным 2–2,1. Области приложения нагрузок показаны на рис. 2, а результаты

испытаний обобщены в таблице ниже. На основании проведенных испытаний с учетом запаса прочности в качестве экспериментального материала для изготовления мышечного отростка нижней челюсти рекомендовано использовать титановый сплав Ti6Al4V, для суставной ямки височной кости – СВМПЭ, что согласуется с данными работы [4]. Возможен вариант использования композиционного материала на основе СВМПЭ.

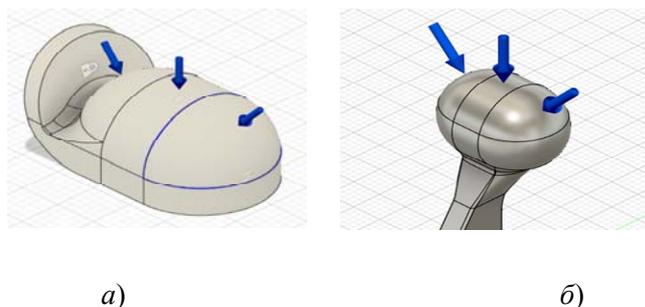


Рис. 2. Область приложения нагрузок для мышечного отростка (а) и суставной ямки (б) в процессе моделирования

Результаты испытаний на нагружение мышечного отростка нижней челюсти и суставной ямки височной кости ВНЧС

Материал	Нагрузка, Н	Напряжения, МПа		Максимальные перемещения, мм	Коэффициент запаса прочности	Вывод
		min	max			
Титановый сплав	100	0,0029	81,990	0,040	10,760	подходит
	150	0,0044	123,000	0,060	7,176	подходит
	200	0,0059	164,000	0,080	5,382	подходит
	265	0,0079	217,300	0,100	4,062	подходит
	300	0,0089	246,000	0,120	3,588	подходит
Нержавеющая сталь	100	0,0038	115,100	0,020	2,515	подходит
	150	0,0057	172,700	0,030	1,677	не подходит
	200	0,0076	230,300	0,040	1,258	не подходит
	265	0,0102	305,100	0,060	0,949	не подходит
	300	0,0114	345,400	0,060	0,838	не подходит
СВМПЭ	100	$3,6 \cdot 10^{-5}$	6,172	0,005	3,402	подходит
	150	$5,4 \cdot 10^{-5}$	7,399	0,007	2,838	подходит
	200	$6,7 \cdot 10^{-5}$	8,661	0,009	2,425	подходит
	265	$8,5 \cdot 10^{-5}$	9,887	0,012	2,124	подходит
	300	$9,6 \cdot 10^{-5}$	11,100	0,013	1,893	не подходит
Каучук (силиконовый)	100	$5,5 \cdot 10^{-5}$	5,392	1,752	1,918	не подходит
	150	$1,1 \cdot 10^{-5}$	6,465	2,420	1,599	не подходит
	200	$2,1 \cdot 10^{-5}$	7,562	3,100	1,367	не подходит
	265	$2,6 \cdot 10^{-5}$	8,633	3,954	1,198	не подходит
	300	$2,9 \cdot 10^{-5}$	9,696	4,469	1,066	не подходит

Завершающий этап работы в технологической цепочке производства индивидуальных эндопротезов ВНЧС – печать оптимизированной модели на 3D-принтере. Тот факт, что с 2016 г. в Республике Беларусь началось бурное развитие работ в области 3D-печати, позволяет надеяться, что индивидуальное эндопротезирование со временем найдет собственную нишу.

Работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве (договор № 2 от 14.06.2021 г.), подписанного при создании филиала кафедры «Материаловедение в машиностроении» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого на базе филиала «Технопарк «Коралл» РУСП «Агентство развития и содействия инвестициям».

Литература

1. Пивченко, П. Г. Анатомия опорно-двигательного аппарата : учеб. пособие / П. Г. Пивченко, Н. А. Трушель. – Минск : Новое знание, 2014. – 147 с.
2. Епифанов, С. А. Протезирование височно-нижнечелюстного сустава / С. А. Епифанов, А. П. Поляков, В. Д. Скуредин // Вестник Национального медико-хирургического центра имени Н. И. Пирогова. – 2014. – № 4. – С. 17–22.
3. Особенности трехмерного моделирования анатомических структур человека для повышения эффективности оперативного лечения в ортопедии и нейрохирургии / Е. В. Ковалев, Д. А. Довгало, А. В. Ковалевич, С. В. Стельмашонок // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 125–127.
4. Пинчук, Л. С. Эндопротезирование суставов: технические и медико-биологические аспекты / Л. С. Пинчук, В. И. Николаев, Е. А. Цветкова. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2003. – 308 с.

УДК 004.415.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГОЛОСОВОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Т. А. Трохова, И. В. Емельяненко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Обоснована необходимость применения технологии голосового интерфейса в ERP-системах при программировании производственных процессов предприятий. Разработано программное приложение, позволяющее выполнить оперативный ввод информации о выпуске продукции производственного цеха с использованием голосового интерфейса.

Ключевые слова: ERP-системы, голосовой интерфейс, интегрированная база данных, мобильные приложения, архитектура приложения.

APPLICATION OF VOICE INTERFACE METHODS TO SOLVING PRODUCTION PROGRAMMING PROBLEMS

T. A. Trokhova, I. V. Emelianenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The necessity of using voice interface technology in ERP systems when programming production processes of enterprises is substantiated. A software application has been developed that allows for the prompt entry of information about the output of a production workshop using a voice interface.