А.Е. Кобитянский, А.О. Трофимов, Д.А. Фефилов, В.С. Белобородов A.E. Kobitjanskii, A.O. Trofimov, D.A. Fefilov, V.S. Beloborodov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА

SOLID MODELING OF COMPONENTS OF THE DEVICE FOR THE REHABILITATION OF THE ELBOW

Представлена твердотельная 3D-модель тренажера для реабилитации локтевого сустава. Проведены расчеты на статическую прочность модели, полученной в среде SolidWorks Simulation. Получены картины поля относительных смещений, поля деформаций и напряжений в элементах тренажера.

Ключевые слова: локтевой сустав, тренажер, твердотельная модель, расчеты на прочность, деформация.

The article gives the solid-state three-dimensional model of the device for the rehabilitation of the elbow, static calculation for strength for each element of the device which were performed in SolidWorks Simulation and figures of relative shifts, deformations and tensions, which exist in each element of the device.

Keywords: elbow, device for the rehabilitation of the elbow, solid-state model, model, calculations for strength, deformation.

Проблема лечения людей с посттравматическими контрактурами локтевого сустава является одной из самых важных и сложных в травматологии. Это связано с особенностями строения локтевого сустава и сложной взаимосвязью его элементов [1]. Реабилитация посттравматического состояния суставов достигается с помощью механотерапии, когда лечение осуществляется с помощью специальных устройств и тренажеров. Синтез таких устройств — эффективных, мобильных и удобных в эксплуатации — является актуальной задачей. Рассмотрим эскиз одного из вариантов тренажера для разработки локтевого сустава (рис. 1).

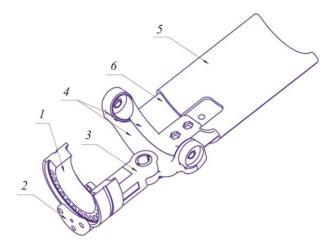


Рис. 1. Эскиз устройства тренажера для реабилитации локтевого сустава: I — поворотная дуга, совершающая вращательное движение вокруг своей оси (образует пару V класса); 2 — регулируемая опора поворотной дуги; 3 — поворотный рычаг, в котором установлена опора 2; 4 — кинематическая пара, служащая для сгибания-разгибания локтевого сустава; 5 — неподвижная часть ложемента для плеча; 6 — регулируемая часть ложемента, образующая поступательную пару в процессе настройки тренажера с неподвижной частью

При работе тренажера осуществляется кинематическая связь двух движений – сгибания-разгибания локтя и смещения оси руки в пространстве, реализуемые за счет двух пар V класса и закрепления руки в поворотной дуге, что соответствует поведению сустава человеческой руки. Одновременно с этим возможна реализация движения супинации – пронации вне зависимости от остальных движений за счет подвижного сопряжения поворотной дуги с опорой поворотной дуги, образующих кинематическую пару V класса [2].

В процессе реабилитации локтевого сустава возникают нагрузки, действующие на элементы тренажера и влияющие на его долговечность и работоспособность. Для предварительной оценки нагрузочной способности элементов тренажера в соответствии с рис. 1 сформирована 3D-модель (рис. 2) методами твердотельного моделирования [3]. Для этой модели проведены расчеты по ряду прочностных критериев, таких как статические деформации, статические напряжения (критерий Мизеса).

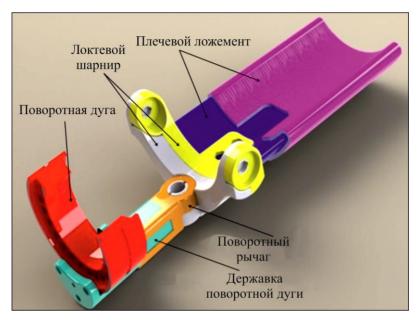


Рис. 2. Твердотельная 3D-модель устройства

Процедура моделирования осуществлялась в среде SolidWorks [4] путем задания модели свойств материала, из которых она изготовлена, и задания силовых факторов, прикладываемых к ее элементам. В качестве материала выбран алюминий. Материал модели и ее свойства представлены ниже:

Материал	Сплав 1060
Тип модели	Линейный, упругий, изотропный
Критерий прочности по умолчанию	Максимальное напряжение von Mises
Предел текучести	2.75742e+007 N/m^2
Предел прочности при растяжении	6.89356e+007 N/m^2
Модуль упругости	6.9e+010 N/m^2
Коэффициент Пуассона	0.33
Массовая плотность	2700 kg/m^3
Модуль сдвига	2.7e+010 N/m^2
Коэффициент теплового расширения	2.4e-005 /Kelvin

В качестве нагрузки примем средний вес человеческой руки, равный 40 Н. При расчете элементов начиная с элемента 2 (см. рис. 1) учитывается вес других элементов, расположенных до рассчитываемого.

На рис. 3–9 представлены результаты расчета основных элементов тренажера на прочность.

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 547	1.45584e-005 mm Узел: 1816
в	VON: Напряжение Von Mises	0.356649 N/m^2 Узел: 10228	194354 N/m^2 Узел: 13473
г	ESTRN: Эквивалентная деформация	1.25074e-009 Элемент: 6967	1.70498e-006 Элемент: 3154
Ими моделе: Депинь2 Ими исседование: Исследсевние Т Тип селих Селии из твердом теме		Procession Johnson File encognisment from encognisment from encognisment from encounter from enc	URES (MIN)
		1	1.006-005 1.106-005 1.17-3-005 1.006-005 0.706-006 4.403-006
			4 500-000 4 500-000 3 8 600-000 2 750-000 1 275-000
Импонадели: Деталь? Имп иссласовных Иссласовные 1	a	Final support Control Companies of Companies	
Ти экідь Становой рітейн мід в Пами дейдамун 1186	100 Marc (2007) 100 Marc (2007	The strates of the strategy of	1500m 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000 1700-000

Рис. 3. Результат расчета на прочность детали «поворотная дуга»

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm	0.00515802 mm
· ·		Узел: 372	Узел: 10889
0	VON: Напряжение Von Mises	0 N/m^2	1.49571e+007 N/m^2
в		Узел: 1110	Узел: 10670
	ESTRN: Эквивалентная деформация	0	0.000131312
г		Элемент: 5830	Элемент: 2021
			. 2.67% 000
	a	δ	30-Maill 31-Maill 171-Maill 178-Mail
Plan Maggaru 2 The secretagenesses Microsoper The secretageness Children (Microsoper Children)	the Same Same Same Same Same Same Same Sam		1,719-000 1,299-000
	the Same Same Same Same Same Same Same Sam	print Hotologianese 1 Terrority authorises distributions	1.718e-003 1.290e-003

Рис. 4. Результат расчета на прочность детали «державка поворотной дуги»

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 41	8.83704e-005 mm Узел: 1004
в	VON: Напряжение Von Mises	0.0980193 N/m^2 Узел: 408	1.22947e+006 N/m^2 Узел: 9981
г	ESTRN: Эквивалентная деформация	4.23433e-010 Элемент: 5331	1.13631e-005 Элемент: 7834
			. 8:200-005 5:001-005
===	a	6	1400-000 1400-000 1400-000 1400-000 1200-000 1700-000 1700-000 1100-000
the region. If the recommendation of the rec		To assess to companion 1 and to the companion of the comp	\$ 100x.000 • ************************************

Рис. 5. Результат расчета на прочность детали «поворотный рычаг»

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 1	0.007224 mm Узел: 1495
в	VON: Напряжение Von Mises	0 N/m^2 Узел: 1	2.07549e+007 N/m^2 Узел: 13366
г	ESTRN: Эквивалентная деформация	0 Элемент: 1	0.000190546 Элемент: 12134
Именидами 4 Именисоврочных Иссперование 1 Типоеток Сепа на текедам теке	MA MA So So	Integrité 6 4 Configuration Frontgament 1 4 Configuration Frontgament 1 5 Configuration Frontgament (Integration Configuration Configuration Configuration Configuration Configuration Configuration Configuration Config	
			1970 (no) 7 7 (no) (no) 450 (no) (no) 350 (no) (no) 350 (no) (no) 150 (no) (no) (no) (no) (no) (no) (no) (no)
	а	б	
Amongone in company and amongone company and amongone company and the company and amongone co	*** The companies of th	Traces of the Company	1370-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00 1300-00

Рис. 6. Результат расчета на прочность детали «локтевой шарнир»

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 208	0.000242615 mm Узел: 2126
в	VON: Напряжение Von Mises	0.0892895 N/m^2 Узел: 9684	88479.3 N/m^2 Узел: 6919
г	ESTRN: Эквивалентная деформация	1.78144e-012 Элемент: 5526	7.7022e-007 Элемент: 5843
that reagan is a filtrague search for service of the service Come or tragger rose.	the sages of the s	o di component i con monte que el figurariament de con figurariament de	1995 tow 1 200:00 1 200:00 1 200:00 1 200:00 1 200:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00 1 100:00
florenges 1 to complete the first stage consideration of the stage consideration of the stage consideration of the stage consideration of the stage advantage 10H 2	CA This argument to the argument of the argume	As transported 1. The contract of the contrac	1000-000 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007 1700-007
		г	

Рис. 7. Результат расчета на прочность детали «ложемент для предплечья»

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 34	0.00817665 mm Узел: 15460
в	VON: Напряжение Von Mises	0.210148 N/m^2 Узел: 2435	1.986e+007 N/m^2 Узел: 13184
г	ESTRN: Эквивалентная деформация	1.87097e-012 Элемент: 1776	0.00019568 Элемент: 2960
	a	6	1 766-000 6 101-000 6 101-000 6 101-000 6 106-000 6 106-000 1 106-000 1 106-000 1 106-000 1 106-000 1 106-000
омадон. В	Net Nagrationed And Nagratio	er d. Tribunitari Processori 1 Tribunitari Significani delinomenti	150% 1,79% (SA) 1,79% (SA) 1,69% (SA) 1,69% (SA) 1,59%
	02 —+ Figure 10 years	г	1 ST+e-012

Рис. 8. Результат расчета на прочность детали «локтевой шарнир»

Имя	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
а	Сетка на модели		
б	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 5	7.03286e-007 mm Узел: 7652
в	VON: Напряжение Von Mises	8.7823e-005 N/m^2 Узел: 10619	11166.9 N/m^2 Узел: 7883
г	ESTRN: Эквивалентная деформация	1.09386e-008 Элемент: 4174	9.29049e-008 Элемент: 3080
	a	ō	140-367 120-367 120-367 140-367 140-367 120-367 120-367 120-367 120-367 120-367 120-367 120-367
Transmitter distriction (International Conference (International Confe	The second of th	and the second s	23 700 MB
	(Region temperon 27 01 2010)	2	

Рис. 9. Результат расчета на прочность детали «ложемент для предплечья»

Сделаем следующие выводы:

- 1. Построена размерная твердотельная САD-модель тренажера для реабилитации локтевого сустава.
- 2. Проведены расчеты на прочность и получена оценка деформаций каждого элемента тренажера, позволяющая перейти к направленному проектированию его конструкции.
- 3. Полученные результаты позволили спроектировать и изготовить методом быстрого прототипирования один из вариантов тренажера [2].

Список литературы

- 1. Капанджи А.И. Физиология суставов. 6-е изд. М.: Эксмо, 2009. 368 с.
- 2. Синтез и проектирование устройства для реабилитации локтевого сустава / А.М. Ханов, А.Е. Кобитянский, Н.М. Белокрылов, Д.А. Фефилов, А.О. Трофимов // Master's Journal. Пермь, 2013. 103—109 с. URL: http://vestnik.pstu.ru/mj/archives/?id=&folder id=3320.
- 3. Твердотельное моделирование деталей в среде геометрического моделирования SolidWorks: учеб. пособие / М.Ю. Куприков, Ю.В. Маслов, Г.К. Хотина, Л.Б. Никишина. М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. 103 с.
- 4. Алямовский A.A. SolidWorks/COSMOSWorks Инженерный анализ методом конечных элементов. М.: ДМК Пресс, 2004. 432 с.

Получено 6.02.2014

Кобитянский Алексей Ефимович – кандидат технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: detali@pstu.ru).

Трофимов Александр Олегович – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nameofmybox@mail.ru).

Фефилов Дмитрий Анатольевич – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: freerodj@mail.ru).

Белобородов Владимир Сергеевич – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: beloborodovvova@mail.ru).

Kobityansky Aleksey Efimovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: detali@pstu.ru).

Trofimov Aleksandr Olegovich – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: nameof-mybox@mail.ru).

Fefilov Dmitry Anatolyevich – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: freerodj@mail.ru).

Beloborodov Vladimir Sergeevich – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: beloborodovvova@mail.ru).