«Инновационные технологии протезирования. Исследование и использование»

Бывает, что людям по разным причинам нужны новые конечности, но современные протезы далеки от совершенства. На сегодняшний день в мире очень актуален вопрос создания качественного, удобного и анатомичного протеза. Мы нашли и изучили имеющуюся информацию. Результатом нашей работы стала статья с подробным описанием имеющихся технологий в области создания искусственных костей, суставов, мышц, кожи. В нашей статье мы изложили, как можно сделать совершенный протез руки, опираясь на современные технологии и технологии в разработке.

Постановка задачи

На данный момент существует много вариаций протеза руки, но это все, как правило, механические конечности, которые не имеют мягкости, координаций и внешнего вида настоящей руки.[1] Поэтому он часто бросается в глаза. Наша задача - изучить наиболее современные технологии протезирования, проанализировать возможность создания «идеального» протеза и попробовать представить, как может выглядеть и функционировать протез руки, наиболее приближенный по функциям и внешнему виду к настоящей, биологической руке.

Внутренний каркас руки - кости и суставы

Кости

Кости должны быть легкие и в тоже время прочные. В протезе надо передать эти качества кости, чтобы при этом существовала биосовместимость с организмом. В основу кости мы взяли разработку корейских ученых, которые создали искусственные кости в лабораторных условиях. В начале создается губчатое вещество кости из оксида циркония и фосфата кальция. Дальше создается кортикальный слой кости. Технология создания кортикального слоя такова: «Узелки из биоматериала на полимерной основе наматывали на стальные провода диаметром около 0,3 мм с помощью метода электропрядения (электропрядение представляет собой нанотехнологический процесс получения тканеподобных структур из микроволокон под воздействием электрического заряда). Полученные структуры объединяли с основой, представляющей искусственное губчатое вещество кости. На заключительном этапе стальные проводки удаляли.» [2]

Также существуют металлические кости, но по мнению экспертов и научных институтов они уходят в прошлое, да и вообще механические протезы в принципе. Несмотря на то, что механические протезы существуют уже не одно столетие, предел их функциональности, похоже, давно достигнут. Поэтому дальнейшее развитие связано с биоэлектрическими протезами. Такие механизмы имеют в своей конструкции электроды, считывающие ток, вырабатываемый мускулами при их сокращении.

Суставная часть

Несмотря на то, что искусственные кости похожи на настоящие, сделать суставы по тому же принципу, что и кости, достаточно тяжело т.к. для этого потребуется постоянная подача суставной жидкости. Поэтому мы заменим возможные костяные суставы на металлические, вариантов которых сейчас бесчисленное множество. Важно, чтобы искусственный сустав не только выдерживал нагрузку, но и был устойчивым к трению и мог зафиксироваться. Обычно для этих целей используют кобальтовые сплавы или керамику. Но применяемые сейчас материалы, по мнению специалистов, имеют ряд ограничений. «Кобальтовые сплавы биологически опасны, так как в них есть канцерогенные соединения. К тому же, они тяжелые, а это значит, что в два раза увеличивается нагрузка на кость, организм и все остальные части тела. Керамические же эндопротезы довольно дорогие и хрупкие – зачастую, они разрушаются уже в процессе установки и могут повредить соседние ткани. Есть вариант создания сустава из титана, но поскольку это мягкий металл, в трении он дает очень большой износ. От этого износа страдает окружающая ткань, в том числе и костная. Она рассасывается, протез становится нестабильным. Российские ученые-физики смогли разработать уникальный протез из титана. Для этого структуру металла изменили особым образом, в результате чего он стал сверхпрочным.

Хирург-травматолог Николай Загородний, и инженер Михаил Колеров

Перед учеными стояла задача – приспособить титан для использования в медицине. Научные сотрудники Российского государственного технологического университета им. К.Э Циолковского (МАТИ) смогли изменить структуру титана, сделав его мелкокристаллическим. Благодаря этому металл стал тверже, уменьшился его износ, подчеркивает инженер, профессор Михаил Колеров.

Как отмечает хирург-травматолог Николай Загородний, такие протезы рассчитаны на 30 лет эксплуатации.» [3]

Современные искусственные суставы не затрудняют движений и позволяют жить обычной жизнью. Так что мы можем уверенно взять эти суставы в нашу разработку.

Следующая проблема состоит в том, как зафиксировать сустав, чтобы тот не выпадал. В руке для этой цели используются связки. Связки отличаются своей эластичностью и прочностью, поэтому нам нужен материал с такими же свойствами. Лучше всего для этого подойдет нейлон, который обладает невероятным сочетанием свойств: высокой прочностью, термостойкостью, эластичностью и устойчивостью ко многим химическим реагентам. Он соответствует заданным критериям лучше, чем другие вещества (например, каучук). Связки из нейлона скрепят суставы и не будут мешать движению.

Мягкие ткани

Мышцы приводят руку в движение, сокращаясь и растягиваясь при подаче электрического импульса от мозга. Поэтому от искусственных мышц требуется прочность, упругость и невысокое потребление энергии для сокращения. Изначально мы думали сделать мышцы из нейлона, но оказалось, что уже существует лучшая альтернатива для этого. Это мышцы, сделанные из углеродных нанотрубок. Информация, взятая с сайта разработки: «Создаются искусственные мышцы из углеродных нанонитей. При подаче электрического разряда они могут сокращаться. В настоящее время авторы изобретения уже создали на основе углеродных нанотрубок искусственные мышцы, которые в 100 раз прочнее природных, живых, мышц и при этом более гибкие, чем резина. Для этого сначала был выращен «лес» нанотрубок высотой около 400 микрометров высотой и 12 нанометров шириной. Затем нанонити были сплетены в длинные пучки толщиной менее 10 мкм. Для начала вращательного движения искусственная мышца подключается к электроду и погружается в электролит, ионы из электролита двигаются по нитям, те в свою очередь набухают и начинают вращение.» [4] Новые искусственные мышцы сулят настоящий переворот в микромеханике и протезировании.

Еще есть вариант создания мышц из… рыболовной лески. Да, именно из лески. По крайней мере так утверждают создатели идеи. Разработка такова: «Результат превзошел самые смелые ожидания. Боман и его коллеги из Техаса, Австралии и Китая работали над пластиковыми волокнами, скручивая их в нити. Оказалось, что такая пряжа способна сокращаться на 50% под действием тепла и возвращаться к исходному состоянию при охлаждении. Для сравнения, настоящие мышцы сокращаются всего на 20% своей длины. Связка волокон общим диаметром всего в 10 раз больше диаметра человеческого волоса способна поднять 7,2 кг. И производить такие искусственные мышцы возможно на основе самого заурядного материала ценой всего в 5$ за килограмм.» [5]. Однако, при детальном изучении оказывается, что чтобы вызвать сокращение или растяжение, нужно колоссальное количество тепла, Которое человеческий организм не может ни выработать, ни выдержать.

Искусственная кожа

Главная задача кожи - это терморегуляция и осязание. Для этого нужно создать искусственную кожу со сверхчувствительными датчиками давления, температуры и нагрузки. Достаточно близко к созданию такой кожи подошлиученые из Беркли и Стэнфорда. Они создали кожу ощущающую легчайшие прикосновения[6]. Например, касания бабочки.«Разработки представляют собой тончайший слой пластика или резины, связанный с микроструктурой из электронных компонентов. Таким образом удалось сохранить эластичность и подвижность кожи, не нарушив возможностей передачи сигнала.

В университете Беркли разработчики использовали германиево-силиконовые нанонити, а Стэнфордская команда использовала электроды в пирамидальных структурах, которые связывались через тонкую резиновую пленку (толщина получившейся кожи – менее миллиметра). Но такая техника не предусматривает датчиков тепла и влаги. Гораздо ближе к решению данной задачи подошли ученые Израильского технологического института «Технион». Они создали дешевый гибкий датчик на основе наночастиц золота, пригодный для одновременного измерения давления, влажности и температуры. Выглядит технология примерно так. «В новом датчике наночастицы золота диаметром 5−8 нм, окруженные соединяющими их вытянутыми органическими молекулами-лигандами (связующие элементы между рецепторами), нанесены в один слой на тонкий металлический электрод, размещенный на подложке из полиэтилентерефталата — дешевого полимера, используемого в производстве пластиковых бутылок. При изгибе подложки изменяется расстояние между отдельными наночастицами золота. Это влияет на время прохождения электронов между ними, и, в конечном счете, на электрическую проводимость всего датчика.

Новый датчик способен работать в широком диапазоне нагрузок от десятков миллиграммов до десятков граммов и может быть закреплен на поверхности любой формы. Он как минимум в десять раз более чувствителен к прикосновению, чем ранее созданные образцы датчиков для «электронной кожи».[7] Такая кожа отлично выполняет осязательные функции, и покров, который получается в итоге, похож на настоящий кожный покров внешне за счет того, что датчики незаметны, а полимер можно сделать непрозрачным без проблем.

Работа протеза, связь с организмом.

 Управление протезом и чувство осязания.

Если мы делаем протез, заменяющий реальную руку во всех ее аспектах, то он должен снимать результаты с датчиков на коже (осязание), получать сигналы от мозга и преобразовывать их в движение, а также реализовывать некоторые спинномозговые рефлексы. Для этой цели мы решили использовать микрокомпьютеры, датчики и искусственные мышцы, сокращающиеся при подаче электрического разряда.

Протезы, работающие на микрокомпьютерах, уже существуют, но в них используется другой принцип работы. «Внутри той части, которая надевается на культю, расположены электроды. Электроды контактируют с кожей и сквозь нее «чувствуют» электрические импульсы, которые мозг посылает мышцам. Микрокомпьютер, расположенный в протезе, реагирует и отдает соответствующие команды на сервомоторчики. В результате протез, допустим, сжимает пальцы, позволяя хозяину что-то взять.» [8]. Но нашему протезу такая технология не подойдет, так как такой протез теряет эластичность настоящей руки, а жужжание сервомоторчиков сильно выдает искусственное происхождение конечности, что не совпадает с критериями оценивания нашего протеза. Так что пришло время внести что-то от себя. Можно взять тот же принцип с микрокомпьютером, но посылать сигнал не к моторам, а к датчикам, которые задают нужное напряжение мышечному волокну, чтобы вызвать его сокращение или растяжение. В совокупности мышцы протеза будут выполнять движение, заданное мозгом. Но просто сокращения невозможно контролировать. Нужна система, которая будет снимать результаты о положении руки в пространстве и координировать положение протеза. Эту проблему можно решить, если добавить в суставы протеза руки электронные гироскопы. Самые совершенные на сегодняшний день протезы имеют в своем строении эти аппараты для координации движений протеза. Гироскопы фиксируют данные о положении руки в пространстве и отсылают результат в микрокомпьютер искусственной конечности. Таким образом человек сможет контролировать амплитуду, силу и точность движения.

Далее идет осязание, здесь будут работать датчики температуры, давления и нагрузки, которые расположены под кожей. информация с датчиков будет передаваться в компьютер, который в свою очередь будет отправлять сигналы к живым рецепторам организма через транснейральные электроды. Транснейральные электроды позволяют передавать сигнал от протеза к живой нервной системе [9]. Например, на нервные окончания кожи грудной клетки. Уникальные операции завершили американские медики «при помощи сложных манипуляций с нервными окончаниями пациентов, специалистам удалось восстановить ощущения от конечностей, несмотря на то, что в реальности у пациентов были протезы. Специалисты говорят, что данные исследования открывают новые горизонты в протезировании. На сегодня подобные операции были сделаны двум пациентам, лишившимся рук. Медики из Института реабилитации в Чикаго и Северо-западном Университете США смогли перенаправить к нервным окончаниям в груди нервы, отвечающие за передачу сигналов ощущений от рук в головной мозг.»[10]. И вот так, с помощью микрокомпьютеров, протез «оживет». Есть артельнативный вариант. Можно отправлять электрические разряды в отделы мозга, отвечающие за осязания. Как работает этот принцип. «Изначально Слиман и его команда (работники национальной академии наук США) подключали электроды к областям мозга обезьяны, которые соответствовали каждому из пальцев. Затем исследователи трогали пальцы животного, используя устройство, которое производит определенное давление. Затем исследователи повторили те же действия, но наоборот, посылая искусственный сигнал через электрод в мозг обезьяны, в результате чего животные действовали так, будто пальцы подвергались прикосновению устройства — определяли, к каким пальцам прикасаются, даже когда этого не происходило.»

Проблема в том, что данный метод предусматривает сложную операцию на мозге, так что лучше не рисковать и не брать этот вариант.

 Остается вернуть рефлексы. Тут все просто. Надо задать нужный алгоритм микрокомпьютеру. Например, рефлекс отдергивания руки от горячего можно воссоздать, если задать компьютеру алгоритм, что при сильном и резком скачке температуры в районе одного из датчиков производить резкое сокращение группы мышц. Это воссоздаст спинномозговые рефлексы.

Способ крепления к организму

Для прикрепления протеза к культе используют различные способы. наиболее современный и частоиспользуемый способ крепления - это вакуумное крепление.[11] «Заключается он в том, что культеприёмная гильза довольно точно повторяет форму культи и после так называемой «протяжки» последней в выпускное отверстие гильзы, его закрывают клапаном, в результате при попытке извлечь культю наружу образуется вакуум, который не даёт возможности этого сделать. Среди недостатков данного способа следует отметить высокие требования к изменениям объёма культи (возможно возникновение проблем с креплением при её похудении), необходимость тщательнейшего гигиенического ухода за гильзой для устранения запахов. Помимо этого, при вставании пациента из положения сидя выходящий из гильзы воздух может издавать неприятные звуки, а вдевание культи в неё возможно только при помощи специального «чулка-протяжки». Но, к сожалению, это лучшее, что удалось найти.

Подпитка протеза за счет организма

Наш протез включает в себя много элементов, которые требуют затрат электрической энергии. Поэтому нужен источник энергии, который обеспечит протез электричеством. Лучший способ обеспечения энергией протеза-это обеспечение его за счет организма, так как обычные аккумуляторы нужно либо менять, либо подзаряжать извне. Технология, которую разработал научно исследовательский институт Канады под руководством профессора Мохамеда Мохамеди такова: «разрабатывается батарейка, которая помещается в кровеносные сосуды. Состоит она из двух кусочков углеродного волокна диаметром в 7 микрометров (что в 14 раз тоньше волоса). Под действием анода из глюкозы выбиваются электроны, и возникает электрический ток. Он поступает по проводу в медицинский аппарат (в нашем случае это микрокомпьютер), заставляя тот работать, затем возвращается к катоду биобатарейки, где электроны поглощаются кислородом крови с образованием воды.» [12]

Заключение

Мир очень сильно шагнул вперед в протезировании. Уже существуют искусственные мышцы, суставы, кости и кожа, и совершаются прорывы в области осязания и управления протезом. Уже через 10-20 лет будет возможно сделать руку, настолько похожую на настоящую, что человек сможет забыть-протез у него или настоящая рука. Мы надеемся, что сможем внести вклад в развитие протезов и создать протез, похожий на настоящую руку.

Задействованные ссылки:

Общие сайты

1) форум Inva-life.ru, Н.Лагутенко «Современные технологии протезирования», 2010

<http://www.inva-life.ru/forum/50-132-1>

Кости

2) сайт: Nano news net: С.Филиппов «Новая методика создания искусственных костей», 2011

<http://www.nanonewsnet.ru/news/2011/novaya-metodika-sozdaniya-iskusstvennykh-kostei>

Суставы

3) сайт: Здоровьеinfo, М.Сигаева «Как физики помогли медикам», 2010

<http://www.orthoscheb.com/technology/endoprotezirovanie-sustavov/> <http://www.zdorovieinfo.ru/exclusive/kak_fiziki_pomogli_medikam/>

Мышцы

4) сайт: Nano news net, «Искусственные мышцы будут делать из углерода», 2011

<http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/iskusstvennye-myshtsy-budut-delat-iz-ugleroda>

5) сайт: КОМПЬЮЛЕНТА, К.Стасевич «Как изготовить искусственные мышцы из рыболовной лески», 2014

 [http://compulenta.computerra.ru/veshestvo/materialovedenie/10011631/](%20http%3A/compulenta.computerra.ru/veshestvo/materialovedenie/10011631/)

Нервные окончания и кожа

6) сайт: Iscience.ru, «Разработана чувствительная искусственная кожа», 2010

[http://iscience.ru/2010/09/14/razrabotana-chuvstvitelnaya-iskusstvennaya-kozha/#](http://iscience.ru/2010/09/14/razrabotana-chuvstvitelnaya-iskusstvennaya-kozha/)

7) сайт: Популярная механика, Jingyu Zhang «Пятимерная оптическая память: Наноструктуры, сформированные в кварцевом стекле, могут хранить данные в течение миллионов лет», 2013

<http://www.popmech.ru/technologies/14411-pyatimernaya-opticheskaya-pamyat-nanostruktury-sformirovannye-v-kvartsevom-stekle-mogut-khranit-dann/>

Микрокомпьютер

8) сайт:Ampgirl, А.Добрюха «Почти как терминатор», 2013

<http://www.ampgirl.su/2013/09/19/pochti-kak-terminator/>

9) сайт: Газета.RU, А.Каплан «Получим возможность замещения любых органов человека», 2014

<http://www.gazeta.ru/health/2014/02/07_a_5887625.shtml>

10) сайт: Cybersecurity.ru, «Врачи научили пациентов ощущать протезы», 2011

[http://www.cybersecurity.ru/prognoz/120408.html#](http://www.cybersecurity.ru/prognoz/120408.html)

Крепление

11) сайт: Surgery, «Варианты крепления протеза к культе», 2014

<http://www.rusmedserv.com/prostheticsextremities/variants-fastening-prosthesis-stump/>

Обеспечение энергией

12) журнал «Юный эрудит» 09/2013, Коралин Луазо «И бежит по венам ток», 2013