МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

Факультет радиотехники и электроники

Кафедра Системного анализа и управления в медицинских системах

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине Биотехнические системы и технологии

Тема Искусственное сердце

Расчетно-пояснительная записка

Разработал(а) студент(ка) Д.Л. Лихачёва

Руководитель канд. тех. наук, доцент В.Н. Коровин

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

Кафедра Системного анализа и управления в медицинских системах

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу

по дисциплине «Биотехнические системы и технологии»

Тема работы «Искусственное сердце»

Студент группы БМм-161 Лихачёва Дарья Леонидовна

Технические условия Windows XP Professional, Microsoft Office Word

Содержание и объём проекта (графические работы, расчёты и прочее): «Особенности аппарата «искусственное сердце»», «Принцип работы и перспективы развития», 5 рисунков

Курсовой проект состоит из 30 страниц

Сроки выполнения этапов

Сроки защиты курсовой

Руководитель канд. тех. наук, доцент В.Н. Коровин

Задание принял студент Лихачёва Д.Л.

Содержание

Задание на курсовую работу

Замечания руководителя

Введение

. Особенности аппарата «искусственное сердце»

1.1 История развития аппаратов

1.2 БТС-МТ «Искусственное сердце»

1.3 Виды хирургического вмешательства на сердце

.4 Сравнительный анализ донорского и искусственного сердец

. Принцип работы и перспективы развития

.1 Основные научные направления

.1.1 Механические «искусственные сердца»

.1.2 Тканевая инженерия

.1.3 3D принтинг

.2 Принцип работы механических сердец

.2.1 AbioCor

.2.2 BiVACOR

.2.3 CARMAT

.2.4 SynCardia Total

Заключение

Список литературы

Введение

21 век - век прорыва в медицине. Из стволовых клеток ученые научились выращивать сосуды, кости, сухожилия, целые органы, клапаны сердца, сердечную мышцу. Уже проводятся операции по установке искусственного сердца человеку.

Искусственное сердце или искусственные желудочки применяются у больных в терминальной стадии сердечной недостаточности для спасения их жизни и поддержки кровообращения до того момента, когда найдется подходящей для пересадки сердца донорский орган. У некоторых больных с противопоказаниями для пересадки сердца (возраст, сопутствующие заболевания и т.д.) искусственное сердце может быть имплантировано как окончательный вариант.

Ученые и исследовательские коллективы в Советском Союзе, Японии, США, ГДР и ФРГ, Австрии, а также в других странах проводят интенсивные работы по созданию сердца, действующего по принципу механического насоса, которое можно было бы пересаживать в грудную клетку, и которое было бы способно временно или постоянно заменять больное сердце.

1. Особенности аппарата «искусственное сердце»

.1 История развития аппарата

Чуть более 100 лет назад ведущий хирург мира Т.Бильрот предсказывал, что любой врач, рискнувший произвести операцию на человеческом сердце, сразу же потеряет уважение своих коллег. Сегодня только в США ежегодно выполняется около 100 000 таких операций.

Еще в конце 19 в. появились сообщения об успешных попытках операций на сердце, а в 1925 впервые удалось расширить пораженный сердечный клапан. В середине 40-х годов 20 в. были разработаны методы частичной хирургической коррекции ряда сложных врожденных пороков сердца, что сохранило жизнь многим обреченным детям.

В 1937 году советский ученый В. П. Демихов продемонстрировал возможность поддержания кровообращения в организме собаки с помощью пластикового насоса, приводимого в движение электродвигателем: собака прожила 2,5 часа.

В первом искусственном клапане сердца использовался силиконовый шарик в металлическом каркасе. В 1952 г. американский хирург Чарльз Хуфнагель установил клапан с шариком и каркасом пациенту с поврежденным аортальным клапаном.

В 1953 Дж. Гиббону (США) удалось ликвидировать дефект межпредсердной перегородки (сохранившегося после рождения сообщения между двумя предсердиями); операция была произведена на открытом сердце под непосредственным визуальным контролем, что стало возможным благодаря применению устройства, обеспечивающего экстракорпоральное кровообращение, а именно аппарата сердце-легкие.

В 60-х годах американские ученые В. Кольф и Т. Акутсу разработали искусственное сердце из полихлорвинила, состоящее из двух мешочков, включенных в единый корпус. Оно имело четыре трехстворчатых клапана и работало от пневмопривода, расположенного снаружи. Уже в 1969 году Доминго Лиотта осуществил первую попытку имплантации искусственного сердца в человеческий организм. Аппарат в организме тяжело больного пациента проработал 64 часа, после чего был заменен донорским сердцем. Больной вскоре умер от пневмонии, но это был первый дающий надежду результат. В 1982 году американцы снабдили несколько больных более совершенным устройством, получившим название «Джарвик-7». Барни Кларк, первый пациент, прожил с искусственным сердцем 112 дней, а жизнь Билла Шредера «Джарвик-7» поддерживал 620 дней.

В 2010 году в НЦССХ им. А. Н. Бакулева была произведена операция по полной замене сердца человека на искусственный аналог кардиохирургом Лео Бокерия, совместно с его американским коллегой. Этот аппарат обеспечивает кровоснабжение органов и тканей пациента, однако его недостатком является наличие аккумулятора массой 10 кг, нуждающегося в перезарядке каждые 12 часов.

В 2013 году французская компания CARMAT получила добро Еврокомиссии на имплантацию своего искусственного сердца первым четырем пациентам. Протез CARMAT представляет собой имплантируемый гидравлический насос, который питается от внешних батарей.

.2 БТС-МТ «Искусственное сердце»

искусственный сердце хирургический донорский

Рассматривая проблему лечебного воздействия на больной орган (физиологическую систему организма), следует различать две группы явлений:

−непосредственное функционирование органов (работа сердца, легких, почек, конечностей);

−управление работой данных органов. Для автоматического управления этими процессами необходимы различные технические устройства.

В первом случае это будут протезы самих органов: искусственные сердце, легкие, почки, конечности, а во втором - протезы управления органами . Например, в первом случае может применяться протез самого сердца, восполняющий утраченные функции организма, а во втором - кардиостимулятор, поддерживающий жизнедеятельность больного сердца.

Оба случая относятся к терапевтическим БТС-М.

Терапевтические БТС (БТС-МТ) - управляющие БТС, восстанавливающие естественные функции организма и физиологических систем больного человека, поддерживающие их в пределах нормы, а так же выполняющие роль замещения утраченных физиологических функций организма.

Характер взаимодействия технических и биологических звеньев определяет структуру БТС.

В случае терапевтических БТС организм выступает в роли управляемого объекта. Эффективность БТС, в этом случае, определяется степенью близости текущего состояния организма или показателей эффективности функционирования физиологических систем к норме. Здесь, в основном, проявляется метаболический характер взаимодействия биологических и технических звеньев.

Метаболические функции организма включают доставку из среды субстратов, питательных веществ, окислителя (углеводы, белки с помощью желудочно-кишечного тракта; кислород с помощью дыхательной системы и кровообращения), получение энергии, синтез и преобразование веществ (биохимические процессы), выведение из организма продуктов жизнедеятельности (воды, углекислого газа).

Метаболический уровень взаимодействия в БТС в наибольшей степени проявляется при создании искусственных органов (искусственное сердце, почки), а также систем жизнеобеспечения при работе человека в экстремальных условиях среды (космические, глубоководные исследования).

Технические звенья формирования лечебного воздействия могут использовать вещественный, энергетический и информационный типы управления состоянием организма.

Наиболее гибким типом управления в БТС для коррекции состояния организма является энергетический тип управления. С помощью регулируемого энергетического воздействия наиболее просто осуществляется дозирование лечебного фактора и достигается избирательное воздействие на требуемую функциональную систему.

Следует отметить, что в различных БТС построение цепи управления может существенно отличаться. Так, в одних случаях, оценка физиологических показателей, выработка диагностических признаков, формирование управляющих сигналов может осуществляться с помощью только технических средств, в других, наиболее сложных, функцию одного или нескольких блоков выполняет врач или исследователь.

Например, БТС электрокардиостимуляции с использованием имплантируемого стимулятора, работающего «по запросу», реализуется по структуре первого типа. Физиологическим звеном здесь является сердце с его проводниковой системой, к которому подводятся стимулы, задающие ритм сокращения. Собственная биоэлектрическая активность сердца, ослабленная или частично нарушенная в результате патологического процесса, используется для оценки состояния сердечной деятельности. Блок оценки физиологических показателей включает в себя усилитель биопотенциалов, соединенный электродами с миокардом. Блок диагностики работает, в простейшем случае, по принципу компаратора: если собственная активность сердца превышает заданный уровень, то включается формирователь управляющих сигналов для блокирования генератора стимулов. В случае ослабления собственной активности сердца включается генератор стимулов. Таким образом, реализуется простейший вариант управления одним параметром воздействия при оценке одного физиологического показателя.

Передача воздействия в медицинских БТС терапевтического типа может осуществляться контактным или бесконтактным путем. В контактных системах передача энергии от источника воз- действия к биологической ткани происходит при помощи инвазивных средств, например, путем использования вживляемых электродов. При бесконтактной передаче воздействия технические звенья содержат излучатели, как правило, концентрированных колебаний (например, ультразвуковых или электромагнитных), направленных на биологическую ткань.

.3 Виды хирургического вмешательства

) Аппарат сердце-легкие (искусственное кровообращение

Хотя современные аппараты сердце-легкие по производительности и эффективности намного превосходят первую модель Гиббона, принцип их работы остается тем же (рисунок 1). Венозную кровь больного, чаще всего с помощью крупных канюль (трубок), введенных через правое предсердие в верхнюю и нижнюю полые вены, отводят в оксигенатор - устройство, в котором кровь на большой поверхности контактирует с богатой кислородом газовой смесью, что обеспечивает ее насыщение кислородом и потерю углекислоты. Затем оксигенированная (насыщенная кислородом) кровь через канюлю, помещенную в артерию (обычно в аорту вблизи отхождения от нее безымянной артерии), нагнетается обратно в тело больного. При прохождении крови через аппарат сердце-легкие, как правило, используют приспособления для ее подогрева и охлаждения, а также добавляют к ней необходимые вещества.

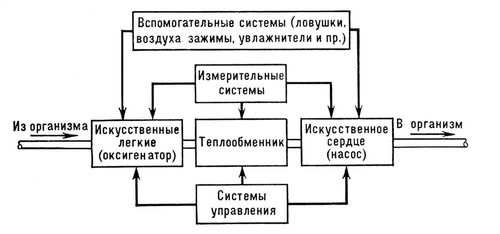


Рисунок 1

В настоящее время применяются оксигенаторы двух основных типов. В одних из них (пузырьковых) для создания большой поверхности контакта между кровью и газом богатая кислородом газовая смесь пропускается через кровь в виде пузырьков. Недостатком этого эффективного и недорогого метода оксигенации является повреждение клеток крови при длительном прямом воздействии кислорода.

Другой тип - мембранные оксигенаторы, в которых между кровью и газом находится тонкая пластиковая мембрана, защищающая кровь от непосредственного контакта с газовой смесью. Однако мембранные оксигенаторы несколько дороже и сложнее в работе, поэтому обычно их применяют лишь в тех случаях, когда предполагается длительное использование аппарата.

) Замена клапанов.

В настоящее время существуют два основных вида клапанных протезов - механические и биологические. И в тех и в других имеется кольцо (обычно из дакрона), которое вшивают в сердце, чтобы фиксировать положение протеза.

Механические клапанные протезы построены либо по принципу шарика в сетке (шар изготавливался из силикона, корпус - из титана, манжета - из тефлоновой ткани. Быстрое разрушение силиконового шара предотвращается методом вулканизации <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F> материала), либо по принципу поворачивающегося диска и выполнены из искусственного материала (пришивная манжета из дакрона, полиэстера, створки из пиролитического углерод <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\_%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4>а, кольцо из титана) и помещенные в обшитый синтетической тканью металлический каркас различной конструкции.

Биологические искусственные клапаны - это либо свиные аортальные клапаны, которые крепятся на специальном устройстве, либо клапаны, выкроенные из бычьего перикарда (фиброзной сумки, окружающей сердце). Предварительно их фиксируют в растворе глютарового альдегида; в результате они утрачивают свойства живой ткани и потому не подвергаются отторжению, опасность которого существует при любой пересадке органов.

Операция замены протезом пораженного клапана сердца. Техника имплантации различных протезов клапанов сердца практически идентична.

При протезировании клапанов чаще применяют срединную стернотомию в условиях искусственного кровообращения. Перикард вскрывают продольным разрезом и берут на держалки. Аппарат искусственного кровообращения подключают по схеме аорта - полые вены. Операцию предпочтительнее выполнять на остановленном сердце.

Для протезирования митрального клапана левое предсердие открывают разрезом спереди от легочных вен. После фиксируют митральный клапан за створки, подтягивают на себя и приступают к его иссечению. Размер протеза устанавливают с помощью шаблона-измерителя.

Для протезирования клапанов аорты, после наложения зажима на её восходящую часть, пунктируют ее переднюю стенку иглой, соединенной с системой для внутриаортального нагнетания холодового кардиоплегического раствора, и одновременно начинают охлаждать сердце снаружи. Пережимают аорту, вскрывают ее просвет. По трем секторам накладывают П-образные швы, которыми прошивают фиброзное кольцо, а концами нитей - манжету клапана, фиксируя протез.

В конце операции обязательно подшивают к миокарду временные электроды для электрокардиостимуляции и оставляют дренажи в перикардиальной полости и средостении.

) Имплантация искусственного сердца

Операция имплантации искусственного сердца выполняется под эндотрахеальным наркозом в условиях искусственного кровообращения <http://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%98%D0%A1%D0%9A%D0%A3%D0%A1%D0%A1%D0%A2%D0%92%D0%95%D0%9D%D0%9D%D0%9E%D0%95\_%D0%9A%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%9E%D0%9E%D0%91%D0%A0%D0%90%D0%A9%D0%95%D0%9D%D0%98%D0%95> или под гипотермией.

После выключения сердца из кровообращения его удаляют, оставляя правое и левое предсердия. Затем производят имплантацию искусственного сердца с помощью канюль или сосудистых швов, соединяющих соответствующие камеры. При использовании канюль предсердия, аорта и легочная артерия искусственного сердца соединяются с предсердиями и крупными сосудами. Более совершенной является методика имплантации искусственного сердца с помощью сосудистых швов. После соединения искусственного сердца с организмом воздух из всех полостей его вытесняется физиологическим раствором. Как только работа искусственного сердца стабилизировалась, грудную клетку зашивают.

) Имплантация ЭКС

Для миокардиальной стимуляции применяют два электрода с концевой частью в виде прямой струны, иголки или спирали, которые внедряют непосредственно в сердечную мышцу с помощью иглы-проводника и фиксируют П-образными швами. Свободные концы электродов выводят на переднюю грудную стенку через межреберье. Под большой грудной мышцей (у женщин можно использовать ретромаммарное пространство) формируют ложе для аппарата, куда помещают ЭКС после подключения к электродам. При этом навязывается искусственный ритм желудочкам сердца с частотой, на которрую настроен имплантируемый аппарат.

Для эндокардиальной стимуляций электрод специальной конструкции (моно- или биполярный) под контролем рентгенотелевизионной установки вводят через одну из поверхностных вен шеи в полость правого желудочка. Конец электрода с контактной головкой подводят к верхушке в межтрабекулярные щели, чем достигается фиксация его.

) Трудности, возникаемые при вживление искусственного сердца.

Операции проводятся под общим наркозом, чаще всего на открытом сердце. Средняя продолжительность хирургического вмешательства - около 6 часов.

В ближайшие дни после операции могут возникнуть кровотечение <http://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%9A%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%98%D0%95>, аритмии сердца <http://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%90%D0%A0%D0%98%D0%A2%D0%9C%D0%98%D0%98\_%D0%A1%D0%95%D0%A0%D0%94%D0%A6%D0%90> , развиться синдром низкого минутного выброса, вплоть до артериальной гипотонии, кардиогенный шок <http://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%9A%D0%90%D0%A0%D0%94%D0%98%D0%9E%D0%93%D0%95%D0%9D%D0%9D%D0%AB%D0%99\_%D0%A8%D0%9E%D0%9A>, легочные осложнения, печеночно-почечная недостаточность; осложнения со стороны ц. н. с.- гипоксический отек головного мозга, психические расстройства и др..

После операции возникает много осложнений, связанных со свертыванием крови. Особенно в месте соединения искусственного сердца и естественных кровеносных сосудов, при этом быстро формируются опасные сгустки крови, при отрыве которых может произойти эмболия легких, сосудов головного мозга и других органов или систем. Кроме того, в месте соединения возможно образование трещин или разрывов стенок кровеносных сосудов, которые являются причинами тяжелых внутренних кровотечений. Операция по имплантации искусственного сердца достаточно опасна и выполняется лишь в том случае, если нет других способов поддержать жизнь пациента до пересадки донорского сердца.

.4 Сравнительный анализ донорского и искусственного сердец

Минусом использования искусственного сердца является увеличение угрозы образования тромбов. Искусственные клапаны, действующие в искусственном сердце, быстро изнашиваются. Также существенным недостатком искусственного сердца является его потребность в постоянной подзарядке от электросети.

Искусственное сердце можно рассматривать как временную меру, пока пациент ждет орган для пересадки. Все разработки далеки от совершенства и доставляют больному массу неудобств.

Идеальный искусственный орган должен соответствовать следующим параметрам:

его можно имплантировать в организм человека;

изготовлен из легкого, прочного, обладающего высокой биологической совместимостью материала;

долговечный, выдерживающий большие нагрузки;

полностью моделирует функции естественного аналога.

Пересадка сердца не панацея, так как срок службы донорского органа всего 5-10 лет, процессы «старения» в нем идут гораздо быстрее, чем в родном органе. Кроме того пациенты вынуждены принимать препараты, не дающие сердцу отторгаться, это в первую очередь гормональные и цитостатические средства угнетающие иммунную систему, что открывает путь инфекциям и злокачественным новообразованиям.

. Принцип работы и перспективы развития

.1 Основные научные направления

.1.1 Механические «искусственные сердца»

Разработанное под руководством профессора Алена Карпантье французское искусственное сердце замечательно тем, что само автоматически настраивается при изменении физической нагрузки на организм человека. В других моделях искусственных сердец такая подстройка осуществляется извне.

Но какими бы совершенными автоматами ни были сердца такого типа, главный их недостаток состоит в том, что это всего лишь насос.

Нашим отечественным ученым Виктором Скуминым описан кардиопротезный психопатологический синдром, вошедший в учебники как "синдром Скумина". Внимание человека постоянно фиксируется на работающем в нем моторчике. В отличие от протезов, например, зубов, и даже рук и ног отвлечь от этого человека просто невозможно. Человек постоянно ждет: а вдруг моторчик замолкнет?

В живом сердце об этом сигнализирует боль. Здесь боли нет и быть не может. В будущем, вероятно, появятся протезы сердца, имитирующие его биение. Но болеть они тоже не будут, а потому синдром Скумина по-прежнему будет довлеть над психикой человека с сердечным протезом.

Травмирование крови - это как раз проблема внешних насосов, которые используются при операциях на сердце. Когда их только разрабатывали, основной трудностью было то, что эритроциты и другие элементы крови этими насосами повреждались.

Современное развитие материалов может привело к тому, что было создано механическое сердце. Это полимерный насос, сделанный из биосовместимых материалов.

Главной проблемой создания самодостаточного искусственного сердца остаётся создание подходящего источника питания.Freedom Portable Driver -устройство, которое с помощью насосов и сжатого воздуха прокачивает кровь по артериям, заменяя настоящее сердце и позволяя больным свободно перемещаться по своим делам. Испытания этого устройства идут с 2010 года довольно успешно, в 2012 году искусственное сердце SynCardia Freedom Portable Driver удостоилось награды Medical Design Excellence Award <http://www.prnewswire.com/news-releases/syncardia-wins-2012-medical-design-excellence-award-156067575.html> на конкурсе медицинских технологий в категории реаниматологии и неотложной медицинской помощи.

Инновационную технологию уже проверили в деле. Например, американский пациент Стэн Ларкин (Stan Larkin), которому сейчас 25 лет, жил без собственного сердца 17 месяцев.

Стэн Ларкин прожил с искусственным сердцем 555 дней. Абсолютный рекорд для пациента с полностью искусственным сердцем SynCardia Total Artificial Heart составляет 1374 дня <http://www.syncardia.com/2014-multimedia-releases/7-things-about-artificial-hearts-that-you-should-know/itemid-1715.html>. Примерно треть проводят с таким устройством больше года, а некоторые - по два года и больше.

Искусственное сердце SynCardia Heart весит 160 граммов (вдвое легче натурального) и стоит $124 800, плюс сервисное обслуживание портативного комплекта в рюкзаке.

Первое в мире бионическое непульсирующее сердце было успешно пересажено здоровой овце и будет испытано на людях в течение трех лет. Инновационное устройство, созданное учеными из Технологического университета Квинсленда в австралийском городе Брисбен, заменяет биение вращением диска, который качает кровь по всему телу. Новое изделие по конструктивному исполнению существенно отличается от предыдущих искусственных сердец, имитирующих работу биологического сердца.

Главный дизайнер устройства Даниэль Тиммс говорит, что срок службы BiVACOR был увеличен на 10 лет по сравнению с предыдущими моделями. Этому способствовала новая конструкция с использованием магнитной левитации, которая предотвращает износ компонентов.

Операция по замене здорового сердца на BiVACOR была осуществлена на овце группой хирургов из Австралии и США. Сердце животного больше не бьется, а на артериях нет пульса. Но это вовсе не значит, что оно умерло. Овца живет, как и прежде.

Представьте для себя авто движок, который должен идеально работать в течение 50 лет либо больше, никогда не выключаться, не перенагреваться и никогда не ремонтироваться. Австралийская контора Ventracor за 10 с излишним лет разработала устройство VentrAssist. Данный устройство - это система помощи левому желудочку сердца (Left Ventricular Assist System - LVAS), которое навечно встраивается в тело пациента. По сущности - это насос для перекачки крови.

Система состоит из двух основных частей: имплантата и контроллера с батареей, которые пациент носит на поясе. Аккумуляторной батареи хватает на 8 часов. Главная деталь - это ротационный насос с электромотором диаметром 60 мм для перекачки крови из левого желудочка в аорту. Единственная движущаяся деталь - ротор. Весит имплантат 398 граммов. Основной материал - титановый сплав, хотя в образцах первого и второго поколений использовался алюминий и другие металлы. Система уже не раз успешно испытывалась на людях.

.1.2 Тканевая инженерия

Имеющиеся осложнения, связанные с протезированием сердца, диктуют необходимость разработки новых методов создания искусственного сердца. Одним из таких методов является тканевая инженерия. Клапаны, изготовленные с помощью тканеинженерного подхода, являются биосовместимыми, прочными, длительно служащими, не требуют антикоагулянтной терапии, а главное, способны к регенерации и росту вместе с ростом сердца реципиента. Наиболее развитым направлением тканевой инженерии клапанов сердца является их децеллюляризация, то есть создание внеклеточного матрикса, который можно заселить клетками-предшественницами пациента и трансплантировать.

Эмбриональные стволовые клетки выделяются из внутренней клеточной массы зародыша на ранней стадии, а взрослые - из разных тканей взрослого организма. Существует этическая проблема, связанная с неизбежным разрушением эмбриона человека при получении эмбриональных стволовых клеток. Поэтому предпочтительнее получение клеток из ткани взрослого организма.

Из жировой (адипозной) ткани относительно легко выделяются стволовые клетки. Из них можно вырастить клетки сердечной ткани - кардиомиоциты с заданной структурой, функционально активные, способные к сокращению, а также нервные и кожные клетки в зависимости от цели исследования.

В тканевой инженерии есть два основных компонента. Это клетки и среда, в которой они должны расти. И не просто жидкая среда, а трехмерное пространство, в котором могут расти клетки для создания искусственной ткани. Необходим и специальный носитель клеток, так называемый матрикс.

Для создания матриксов применяют биологические инертные материалы, одним из которых является коллаген. В последние пять-шесть лет широкое развитие получило создание естественных или, как их еще называют, обесклеточных матриксов. Исследования, проведенные в крупных научных центрах США и Японии, показали, что можно взять орган и отмыть его от всех клеток, сохранив при этом его архитектуру. Главное - обеспечить условия, при которых приготовленный заранее раствор, основным компонентом которого является детергент (мыло), протекал через все питающие этот орган сосуды, растворяя мембраны клеток и оставив лишь белковый остов. Клетки, которые потом прокапываются изнутри, застревают в этом уже сложенном сердце, создают свои обратные связи и сердце начинает работать.

Конечно 3D печать позволяет напечатать матрикс или сердце. Но для этого надо дать принтеру специальные дорогостоящие "чернила". Чтобы он держался, необходимо выделить или синтезировать специализированные белки, в основном коллагены, которые создают архитектуру любого органа. В наших условиях это очень дорогая задача, легче получить обесклеточный орган.

Теоретически все клетки любого организма похожи и отличаются лишь поверхностными молекулами, которые кодируются молекулами, известными данной иммунной системе. Если смыть эти молекулы вместе с несущими их клетками, то теоретически матрикс не должен вызывать иммунную реакцию организма. Но никто этих исследований пока не делал.

Сегодня существует несколько серьезных проблем, связанных с созданием сложного структурного многоклеточного органа.

Одна из основных задач состоит в том, чтобы получить трехмерную ткань стенки сердца толщиной в палец или два. Толщина зависит от того, какая это стенка желудочка и какого именно желудочка, правого или левого. Получать монослои клеток и выращивать такие ткани уже возможно. Проблема же в том, чтобы одновременно с мышечной тканью вырастить и сосудистое русло, через которое эта мышечная ткань будет снабжаться кислородом и питательными веществами, и будут выводиться продукты метаболизма. Без сосудистого русла, без адекватного снабжения клетки в толстом слое, естественно, погибнут. В тонком слое они могут питаться благодаря диффузии питательных веществ и кислорода, а в толстом слое диффузии уже недостаточно, и глубокие слои клеток будут погибать. Сейчас мы можем делать порядка трех слоев сердечных клеток, которые способны выжить.

Это главная фундаментальная задача, которую нужно решить в первую очередь. После можно будет приступить к решению следующих.

Сегодня в Соединенных Штатах относительно простая операция аортокоронарного шунтирования стоит от 30 до 50 тыс. долларов в зависимости от клиники и сложности случая. При этой операции всего-навсего открывается грудная клетка, сердце, ставится шунт на поврежденные атеросклерозом артерии. Теперь представьте, что требуется на стенку сердца нашить целый кусок, который предварительно нужно вырастить. Когда эти процедуры будут уже разработаны, то стоимость может достигать 500 тыс. долларов.

Если в целом говорить об импортируемых системах, то сердце здесь не самый удобный объект. Разумнее продвигать эксперименты на печеночных или почечных тканях. Например, полоски печени легко выживают сами по себе и относительно легко прирастают. Дать человеку, у которого печень поражена циррозом, новую часть печени, которая могла бы начать регенерировать и расти сама по себе, - это гораздо более разумное приложение сил.

.1.3 3D принтинг

Первый удачный эксперимент по созданию органов на 3D принтере состоялся в 2006 году. Группа биоинженеров из Wake Forest Institute for Regenerative Medicine разработала и напечатала для семерых пациентов мочевые пузыри.

Большинство современных 3D-принтеров позволяют послойно печатать различные объекты из пластика или металла. Однако для создания биологических структур, таких как сердце или сосуды, необходимы мягкие биосовместимые материалы, но их применение в качестве сырья для печати проблематично: подходящие для создания биологических структур коллаген, фибрин и другие желеобразные материалы оседают под собственным весом.

Чтобы решить эту проблему, американские ученые использовали в качестве матрицы для печати другой гель на основе микрочастиц желатина, полученный путем обработки обычного желатинового желе в блендере и центрифуге. "Игла" принтера могла свободно по нему двигаться, но он оставался достаточно плотным, чтобы не давать уже напечатанным слоям растекаться.

Основная печать при этом производилась белками или гелеобразными полисахаридами, а в качестве "трафарета" авторы использовали подробные 3D-изображения сосудов или сердца, полученные с помощью метода магнитно-резонансной томографии. В процессе печати гель-основу помещали в закрепленную на столике чашку Петри. "Игла" принтера вводилась в желатин и производила печать, во время которой происходило гелеобразование полисахарида в желатине. Печать осуществлялась при температуре от 4 до 22 градусов Цельсия, чтобы гель-основа не расплавилась. Затем температуру поднимали до 37 градусов, что позволяло легко удалить желатиновую матрицу.

Биоинженеры из Института регенеративной медицины в Уэйк-Форесте (США) разработали необычную технологию трехмерной печати, которая позволяет создавать полноценные копии отдельных костей, мышц и хрящей из стволовых клеток. До сих пор ученым удавалось распечатывать только очень тонкие слои живой ткани (до 200 мкм) - иначе ткань начинала гибнуть, так как питательные вещества и кислород не могут проникнуть на такую глубину без наличия кровеносных сосудов. В данном случае биоинженеры использовали особый полимер, позволявший укладывать клетки слоями и при этом сохранять небольшой просвет между ними. А после печати, ученые помещают органоид в организм мыши, где он постепенно "зарастает" кровеносными сосудами, а полимер постепенно разлагается, уступая им место. В конечном итоге на месте заготовки возникает полноценный орган, обладающий нужной трехмерной формой и всеми необходимыми видами ткани.

Врачи пока еще не научились распечатывать на 3D-принтере полноценное сердце, которое можно имплантировать человеку вместо его собственного. Однако, распечатанные на 3D-принтере органы уже реально спасают жизни. Как в случае с этой 4-летней девочкой Мией. Она страдала редкой патологией сердца, которая приводила к большим проблемам с дыханием, и ей требовалась сложнейшая операция на открытом сердце с коррекцией аорты. И эта операция стала возможной только благодаря тому, что хирург получил в свое распоряжение точную модель сердца девочки, созданную по результатам МРТ и КТ-сканирования и распечатанную на принтере. Получив в свое распоряжение орган-прототип хирурги сердечно-сосудистого центра Никлауса в Майами получили возможность отработать технику оперативного вмешательства и отыскать оптимальный вариант.

Китайские врачи провели успешную операцию на открытом сердце. Особенностью операции стало то, что при подготовке к операции медики воспользовались 3D-печатью: они напечатали сердце пациента и на этой модели отработали все этапы хирургического вмешательства.

Впервые в истории медицины был использован 3D-принтер для печати сердца-на-чипе. При этом авторы инновационной технологии, ученые из Гарвардского университета, оснастили человеческий орган датчиками, измеряющими силу сердечных сокращений.

Органы-на-чипе представляют собой микроскопические модели человеческих аналогов. Выполнены они в форме тонких чипов, помогающим медикам осуществлять самые сложные научные исследования без экспериментов с участием пациентов.

Разработанное в Гарвардском университете сердце-на-чипе в отличие от иных органов впервые было напечатано на 3D-принтере. Кроме того, оно, также в отличие от аналогов, способно самостоятельно с первых мгновений работы собирать всю необходимую информацию о сокращениях мышц.

.2 Принцип работы механических сердец

.2.1 AbioCor

Впервые в мире <http://news.bbc.co.uk/hi/russian/sci/tech/newsid\_1420000/1420893.stm> успешно пересадили в грудь человека автономный протез сердца в еврейской больнице американского города Луисвилля 2 июля 2001 года. 59-летний афроамериканец Роберт Тулс прожил с ним 6 месяцев без одного дня.

Искусственное сердце AbioCor изготовила компания Abiomed <http://www.abiomed.com/>.

Схема искусственного сердца AbioCor представлена на рисунках 1 и 2.

Систему можно разделить на имплантированную и внешнюю часть. Имплантированная система состоит из грудного блока, контроллера, системы чрескожной передачи энергии и батареи. Внешняя система состоит из "AbioCor Console" и переносимую пациентом электронику - Patient Carried Electronics (PCE).

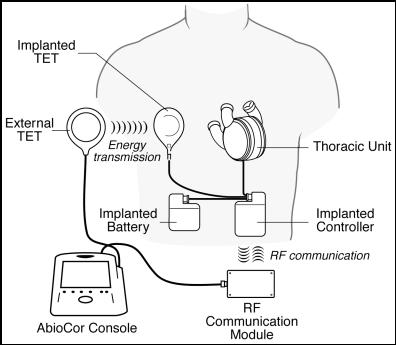


Рисунок 1

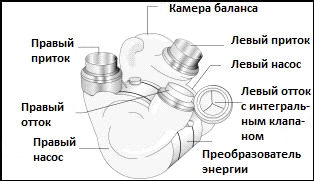


Рисунок 2 - Грудной блок

Грудной блок состоит из двух герметичных насосов крови, разделенных преобразователем энергии.

Каждый насос крови можно рассматривать как твёрдую камеру, содержащую мешочек, заполненный кровью. Пространство между мешочком и преобразователем энергии заполнено рабочей жидкостью.

Преобразователь энергии перемещает рабочую жидкость из одной стороны в другую, сжимая мешок в одном насосе и прогоняя кровь из него. Одновременно кровь активно втягивается в другой насос, заполняя его в течение следующего цикла. Преобразователь энергии толкает рабочую жидкость поочередно в обоих направлениях, заставляя насосы попеременно выталкивать кровь и наполняться ею.

Контроллер - это мозг вживленной системы, его функции:

мониторинг грудного блока и прочих имплантированных компонентов

управление грудным блоком

связь между внешними компонентами и внутренними

Имплантированная батарея, когда она новая и полностью заряжена, содержит достаточное количество электрической энергии для приведения в действие системы AbioCor примерно в течение 60 минут без внешнего источника питания.

Имплантированная система ЧПЭ получает электрическую энергию в виде радиоволн от внешней системы ЧПЭ и преобразует ее в напряжение постоянного тока, используемого остальной частью AbioCor.Console является основным внешним компонентом AbioCor системы. Он обеспечивает подачу питания и передачи данных внутренним компонентам, и представляет возможность пациенту или другим людям мониторинга и настройки работы системы. Console передает энергию через систему ЧПЭ, и обменивается данными через модуль связи RF.

Электроника, переносимая пациентом, представляет собой портативную систему, которая обеспечивает зарядку батареи в имплантированной AbioCor системе через внешнюю систему ЧПЭ, размещается в нейлоновой мешке с батареями, который можно носить через плечо.

.2.2 BiVACOR

Новое устройство под названием BiVACOR было создано специалистами Технологического университета Квинсленда. Вместо «помп» и шарообразных мешков, имитирующих работу живого сердца, ученые использовали вращающийся диск, который разгоняет кровь по всему телу.

Проект BiVACOR (рисунок 3), над которым работают специалисты из Австралии и США, на данный момент проходит стадию испытаний на животных. Преимущество данной разработки - длительный срок эксплуатации, который создатели устройства оценивают в 5-10 лет и более. Эта модель не имитирует пульсирующую работу живого сердца, а обеспечивает постоянные потоки артериальной и венозной крови, для перекачивания которой используется вращающийся двусторонний ротор, подвешенный в магнитном поле (рисунок 4). Отсутствие крепежей и других зон механического контакта позволяет минимизировать износ деталей.

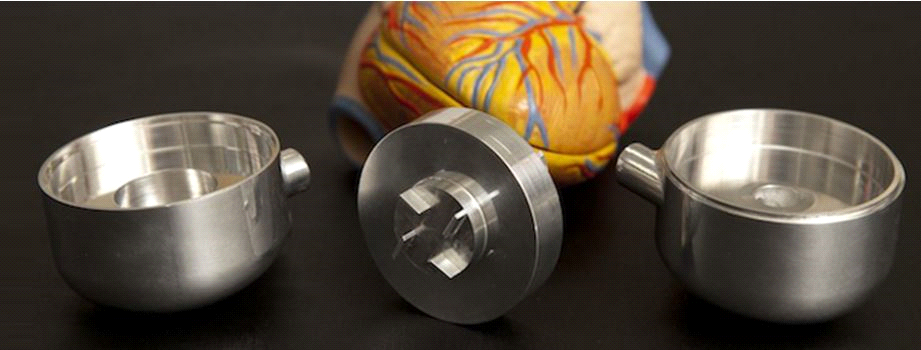
 <http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2015/10\_october/27/bivacor.JPG>

Рисунок 3

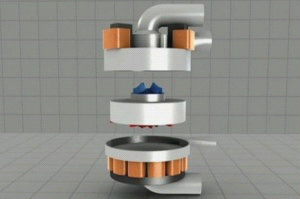


Рисунок 4

также оснащен внешними контроллерами, которые позволяют менять скорость кровотока в зависимости от физической и эмоциональной активности пациента. Аккумуляторы у этой системы также внешние.

Само устройство меньше сердца взрослого человека, и, как сообщают его разработчики, в перспективе может имплантироваться даже детям.

.2.3 CARMAT

Разработанное под руководством профессора Алена Карпантье искусственное сердце CARMAT (Франция) замечательно тем, что само автоматически настраивается при изменении физической нагрузки на организм человека. В других моделях искусственных сердец такая подстройка осуществляется извне.

Устройство состоит из двух частей - имплантируемой и внешней. В отличие от всех своих предшественников внутренняя часть устройства, как и живое сердце, имеет два желудочка - левый и правый, которые разделены с помощью гибкой биомембраны. Один из них предназначен для крови, другой - для специальной жидкости, которая также заполняет и внешний пластичный мешок устройства.

Два миниатюрных насоса создают гидравлическое действие и заставляют жидкость давить на мембрану, имитируя тем самым сокращение сердечной мышцы. При этом искусственные клапаны обеспечивают перекачивание крови строго в одном направлении.

Работу протеза регулирует встроенный микропроцессор и система датчиков высоты и давления, которые отслеживают параметры кровотока в сердце. Благодаря этой миниатюрной системе искусственный орган мгновенно реагирует на изменения со стороны организма и корректирует скорость потока внутри себя. Это ещё одно весомое преимущество перед аналогами, поскольку большинство из них перекачивают кровь с постоянной скоростью.

Снаружи на теле пациента будет закреплена система для записи и передачи данных о работе сердца. Таким образом, лечащий врач сможет наблюдать за своими пациентами дистанционно.

В домашних условиях предполагается наличие внешнего блока питания, который можно будет повесить через плечо или перемещать на тележке. Сейчас это литиевые аккумуляторы. В дальнейшем планируется создание топливных элементов, которые при весе менее 3 килограммов обеспечат 12 часов бесперебойной работы искусственного сердца.

Ориентировочная цена сердца вместе с операцией составит от 140 до 180 тысяч евро, то есть от 12 до 15,5 миллионов рублей.

.2.4 SynCardia

Искусственное сердце стоимостью 124800 долларов используют в случае полного отказа сердечной мышцы: шестикилограммовое устройство с портативной батареей можно носить с собой в рюкзаке. Уникальность SynCardia Freedom Portable Driver (рисунок 5) заключена в том, что ранее переносные приборы помогали лишь в случае частичного отказа сердца, не заменяя настоящий орган, а таких пациентов, как Стэн, подключали к стационарному аппарату, и в течение многих месяцев и лет те оказывались прикованными к постели.



Рисунок 5

Устройство замещает оба желудочка и четыре клапана сердца, способствуя восстановлению жизненно важных органов пациента. Это, в совокупности с отменой иммуносупрессивных препаратов, позволяет организму подготовиться к трансплантации.

На сегодняшний день проведено уже более 1 000 трансплантаций полностью искусственного сердца SynCardia, что помогло более чем 270 пациентам дождаться донорского сердца.- искусственное сердце <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\_medicine/12985> на пневмоприводе. Рабочая его часть (имплантируемое насосное устройство) представляет собой два искусственных желудочка, изготовленных из биополимеров медицинского назначения (полиуретана). Каждый искусственный желудочек состоит из кровяной и воздушной камер. Кровяные камеры с помощью специальных манжет, содержащих искусственные клапаны, соединяют с предсердиями, аортой и легочным стволом. Воздушные камеры через воздуховод связаны с компрессорами, которые находятся вне организма больного. При подаче воздуха гибкая мембрана, разделяющая камеры, перемещается в полость кровяной камеры, и происходит выброс крови в магистральный <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\_medicine/17563> сосуд. При создании вакуума мембрана втягивается в полость воздушной камеры, благодаря чему кровь <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\_medicine/15483> из предсердий поступает в кровяную камеру. Регуляция этого процесса осуществляется с помощью специальной системы управления - привода искусственного сердца.

Так же используется SynCardia Freedom Portable Driver, что позволяет пациентам покинуть больницу, пока они ждут донорского сердца.

Заключение

Технический уровень в этой области ещё не настолько высок, чтобы от пересаженного на длительное время искусственного сердца можно было ожидать действительно существенного продления срока жизни пациента.

Однако перспективы здесь бесспорны: нет сомнения в том, что в конечном итоге будет создан аппарат, способный временно или постоянно выполнять функции сердца. Но пройдет еще немало времени, прежде чем он хотя бы приблизительно сравняется с настоящим сердцем в работоспособности, надежности, точности ритма и реакции на изменения потребностей организма. В ближайшем будущем искусственное сердце, разумеется, может использоваться для облегчения работы и восстановления функции сердца в пред- и послеоперационный периоды.

Список литературы

1. Валерий Шумаков <http://www.ozon.ru/person/3094266/>, Владимир Толпекин <http://www.ozon.ru/person/4776579/> «Искусственное сердце и вспомогательное кровообращение», 2009

. Валерий Шумаков <http://www.ozon.ru/person/3094266/>, Николай Зимин <http://www.ozon.ru/person/5551207/> «Искусственное сердце», 2013

. <http://www.texasheart.org/Research/Devices/abiocor.cfm>

. <http://www.texasheart.org/Research/Devices/bivacor\_tah.cfm>

. <http://www.texasheart.org/Research/Devices/syncardia\_tah.cfm>

. https://www.carmat.nl/