

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
кафедра Основ радиотехники

ВВЕДЕНИЕ В МЕДИЦИНСКУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ

Выпуск 4



Москва

2020

Настоящий выпуск содержит серию обзорных статей студентов первого курса Радиотехнического факультета МЭИ, обучающихся по направлению «Биотехнические системы и технологии», профиль подготовки – «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». Работы выполнены научными коллективами студентов групп ЭР-15,16-20 в рамках освоения дисциплины «Введение в медицинскую электронику» и по достоинству оценены на зачетном занятии.

Не смотря на работу преимущественно в дистанционном режиме из-за второй волны Covid-19, студентам удалось успешно выстроить взаимодействие в научных группах и подготовить интересный и актуальный материал, в том числе про компьютерные томографы, необходимые для диагностики легких при поражении Covid-19, и про аппараты искусственной вентиляции легких, широко применяемые для поддержания жизни людей, тяжело переносящих заболевание коронавирусной инфекцией и его последствия.

Впервые для наших сборников традиция обзорных статей приятно нарушена материалом собственной оригинальной разработки студента, выполненной в период обучения в школе: о расчете оптимальных точек ввода троакаров при операциях на печени.

Хочется выразить искреннюю признательность и благородность Марии Васильевне Кузнецовой (магистранту группы ЭР-16м-19) за отличную редакторскую работу над выпуском, неизменный позитивный настрой и доброжелательность.

*Доцент кафедры Основ радиотехники
Жихарева Галина Владимировна*

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ А.О. Жирнова, Е.Е. Лиманская, К.Р. Самигуллина, Г.С. Чернат	4
ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ (ПЭТ КТ) М.И. Моисеева, С.С. Осипова, Е.Э. Попова, С.А. Михайлова, К.М. Набатова	15
ЭЛЕКТРОФОРЕЗ К.Э. Петров, Д.И. Хисматова, С.С. Ерочкина.....	27
ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЁГКИХ Г.С. Ильин, А.Е. Сныткин, В.Д. Садовников, Н.Ю. Щепотьев, И.Д. Гарбузов	33
ПОЛЬЗА И ВРЕД ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИООБЪЕКТЫ О.В. Кривова, А.М. Мхитарян, В.С. Шмелева.....	44
ПРОТЕЗИРОВАНИЕ КОНЕЧНОСТЕЙ Д.А. Гаевой, М.В. Сучкова, М.Д. Плац, К.К. Котельников, Г.А. Скаржевская.....	52
«ГАММА-НОЖ» И «КИБЕР-НОЖ» А.Ю. Аكوпова, А.Д. Бондарева, М.Ф. Хохлова, С.М. Шагиева	68
АППАРАТ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОЕ СЕРДЦЕ А.В. Моисеев, Р.В. Савин, В.В. Тома, И.А. Тюлькина, К.Д. Самойленко, Н.В. Коробов	82
РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК ВВОДА ТРОАКАРОВ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ НА ПЕЧЕНИ Р.И. Гильмутдинов, Д.М. Ахмедов, А.А. Бадаев, Г.В. Кухарчук	93

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

А.О. Жирнова, Е.Е. Лиманская, К.Р. Самигуллина, Г.С. Чернат

В данной статье представлена основная информация о компьютерной томографии. Целью нашей работы стало изучение принципа действия аппарата, который послойно исследует внутреннее строение органов. Также мы рассмотрели историю создания, виды и узнали мнение врача по поводу этого аппарата.

Введение

Трудно представить современную медицину без компьютерной томографии (КТ). В нашей статье мы подробно расскажем о ней, ведь этот, знакомый многим аппарат, спас уже много жизней. КТ имеет огромное количество применений, но особенно хорошо подходит для быстрого исследования повреждений полученных в результате аварий. КТ может применяться для визуализации практически всех частей тела и используется для исследования заболеваний или травм, а также для планирования хирургического или лучевого лечения. [1] Для того чтобы подробнее узнать, что это все-таки за аппарат, историю его развития, практическое применение, все показания и противопоказания к использованию, обратимся непосредственно к нашей статье.

1. История создания компьютерной томографии

Начнем знакомство с КТ с его истории. Еще в 1959 г. невролог Уильям Олдендорф, который изображен на рисунке 1, предложил теорию о том, что можно просмотреть голову с помощью рентгеновских лучей, а затем реконструировать ее рентгеноконтрастность слоёв. Эта теория возникла у него после того, как он увидел, как работает аппарат для выбраковки подмороженных фруктов. У Олдендорф сконструировал модель КТ-сканера и получил патент на «аппарат для изучения выбранных зон внутренних объектов, скрытых плотным материалом». Первый компьютерный томограф (КТ-сканер) был установлен в больнице Аткинсон Морли в Лондоне. Первое исследование, которым была компьютерная томография мозга, было проведено только в октябре

1971 г. КТ-сканер построили физик Аллан Кормак, изображенный на рисунке 2, и инженер Годфри Хаунс-филд, изображенный на рисунке 3, в 1969 г., но тогда аппарат требовал значительных доработок.



Рисунок 2 – Аллан Кормак



Рисунок 3 – Годфри Хаунс-филд

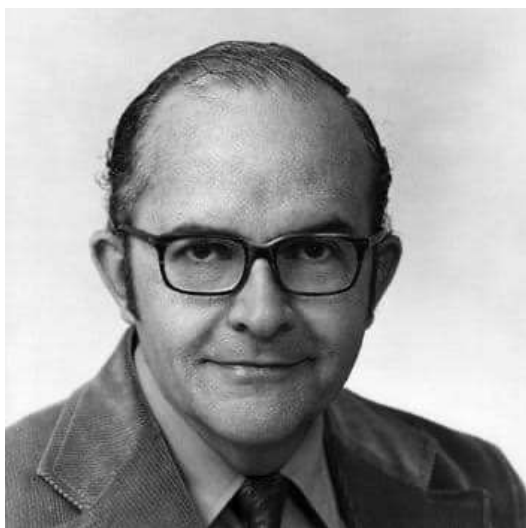


Рисунок 1 – Уильям Олдендорф



Рисунок 4 – Группа «Битлз»

На рисунке 4 изображена группа «Битлз». Ходит легенда, что группа «Битлз», обеспечила финансирование томографа. Хаунсфилд работал в звукозаписывающей компании EMI, которая подписала контракт с тогда ещё малоизвестными «Битлзами». Пластинки начали расходиться

огромными тиражами, и ЕМІ направила часть прибыли на доработку сканера. В 1975 г. Хаунсфилд и Олдендорф получили премию Ласкера за открытие томографа, а в 1979 г. Хаунсфилд и Кормак удостоились Нобелевской премии по медицине. Позднее технология компьютерной томографии ушла далеко вперед. Ускорилось сканирование и число исследуемых слоёв, улучшилось качество изображения. Появились компьютерные томографы с двумя источниками излучения и с рентгеноконтрастным усилением. В 2008 г. компания «Siemens» презентовала новое поколение сканеров, которые могут составлять изображение менее чем за секунду, что позволило получать, например, чёткие картинки бьющегося сердца и коронарных артерий. [2]

2. Компьютерная томография сейчас и в будущем

За свою историю томографы претерпели немалые изменения. Выделяется 4 основных поколения томографов.

Первое поколение имело только одну излучающую трубку и детектор, движущиеся вокруг объекта последовательно, слой за слоем.

Второе поколение томографов получило увеличенное количество излучателей и детекторов.

Третье поколение ввело понятие «спиральной томографии»: увеличенное количество трубок и детекторов за один шаг стола синхронно осуществляли полное вращение по часовой стрелке, что существенно уменьшило время исследования.

Четвертое поколение получило движущийся излучатель (или несколько) и множество жестко закрепленных детекторов на одном кольце. В данный момент это самый распространенный тип томографа, который изображен на рисунке 5, но встречаются и аппараты третьего поколения.

Точный и быстрый анализ органов обеспечивают только аппараты последнего поколения с несколькими излучателями.

Как работает современный томограф. КТ при помощи послойного «просвечивания» обследуемого (т.е. усиливая интенсивность излучения,

аппарат пошагово делает снимки, «забираясь» с каждым разом на 1-3 сантиметра глубже) получает единую трёхмерную цифровую модель человека, благодаря чему можно просмотреть его изнутри со всех сторон.



Рисунок 5 – Современный томограф

Из чего состоит томограф сейчас

Компьютерный томограф состоит из следующих составных частей:

- Стол, на котором располагается обследуемый, имеющий возможность автоматически перемещаться вдоль длины. Расстояние между двумя срезами 5-10 мм. Один срез получают за 1-2 с.
- Штатив «Гентри» с отверстием радиусом 25 см, внутри которого расположен стол с пациентом. В штативе установлена круговая система из нескольких тысяч детекторов. Рентгеновская трубка движется по окружности с продолжительностью вращения 1-3 с или по спирали, испуская лучи, которые, проходя через тело человека, попадают на детекторы, преобразующие энергию излучения в электрические сигналы.

- Компьютер, служащий для реконструкции изображения из данных, полученных с детектора, и передачи необходимой информации на дисплей, пульт управления, штатив и стол.
- Пульт управления, благодаря которому устанавливается режим работы аппарата. К пультам подключен монитор и другие устройства для записи, хранения и преобразования информации.

Фиксировать изображение при КТ можно:

- на мониторе в реальном времени или поместить в долговременную память компьютера;
- рентгеновской плёнке;
- фотоплёнке.[4]

Развитие КТ

В настоящее время в мировой медицине проходит максимальная переоценка многих методов лечения и диагностики. Исследование большинства заболеваний основывается на возможностях медицинской визуализации. Специалисты лучевой диагностики должны использовать максимально рациональные стратегии и методы обследования пациентов. Современные томографические методы диагностики (КТ, МРТ, УЗИ) позволяют получать изображения, почти идентичные реальной анатомии. Благодаря последнему поколению медицинской техники, перед медиками открываются возможности быстрой и точной диагностики заболевших, тем самым понижая заболеваемость и смертность населения.

Благодаря развитию технологий, сильно меняются подходы к последовательности применения методов диагностики. Всё реже используются сразу все методы диагностики, теперь выбираются один-два наиболее необходимых метода.

Для дальнейшего развития лучевой диагностики, необходимо развитие молекулярной лучевой диагностики, дающей возможность раннего выявления болезней на основе обнаружения “больных” клеток или даже молекул. На сегодняшний день эта цель может быть реализована с помощью радионуклидных методов (ПЭТ), кроме того это становится возможным благодаря использованию новейших методик МРТ и МСКТ.

Таким образом, подходы к использованию различных методов лучевой диагностики должны основываться как на клинической и диагностической целесообразности, так и на анализе взаимоотношения «эффективность – затраты», а также они должны учитывать структуру заболеваемости населения и потребности службы здравоохранения. [5]

3. Виды компьютерной томографии

КТ исследование органов грудной полости выполняется при:

- подозрении на наличие опухоли легких, метастатическом поражении легких;
- инфекционных заболеваниях легких (инфекционные деструкции, паразитарные инфекции, туберкулез органов дыхания, пневмокониозы, пневмонии, изображенной на рисунке 6);

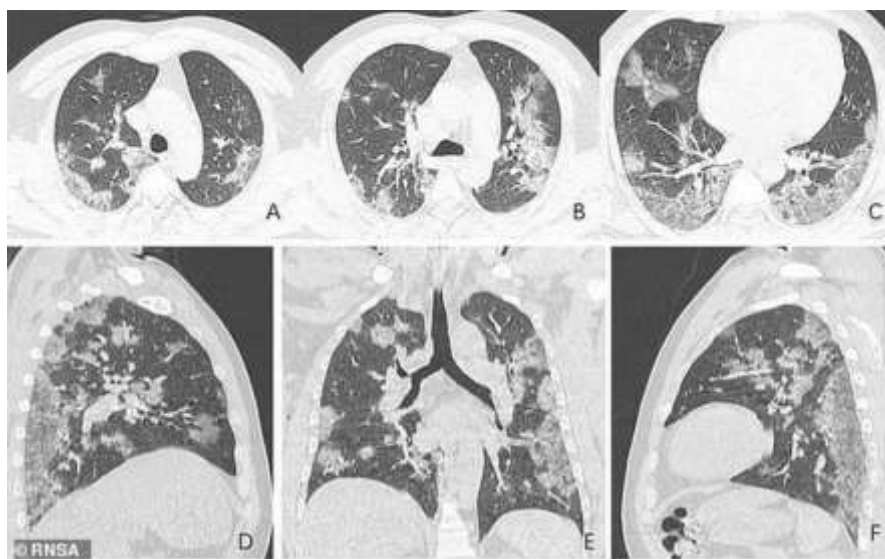


Рисунок 6 – КТ легких при covid пневмонии

- нарушениях легочного кровообращения (тромбоэмболия легочной артерии, инфаркт легкого, септическая эмболия легких, аномалии легочных сосудов);
- заболеваниях бронхов (кисты, инородные тела бронхов ,рубцовые стенозы бронхов, бронхолит, бронхоэктазы);
- заболеваниях и повреждениях грудной аорты и ее ветвей;

- интерстициальных заболеваниях легких (альвеолит, лимфогенный карциноматоз, гистиоцитоз, саркоидоз, силикоз и антракоз, гиперчувствительный пневмонит, эмфизема);
- внелегочных патологических процессах (заболеваниях средостения и грудной стенки, патологии плевры, таких как плевральный выпот, пневмоторакс, опухоли плевры).

Компьютерная томография брюшной полости

КТ брюшной полости и забрюшинного пространства, в отличие от исследований грудной клетки, нуждаются в специальной подготовки. Это нужно принимать во внимание при подготовке к проведению КТ. Исключения составляют только urgentные случаи.

Показаниями к изучению данной области являются:

- первичное или вторичное опухолевое поражение печени и биллиарных протоков, жировая дистрофия печени, абсцессы, кисты, в том числе паразитарные, цирроз печени;
- заболевания желчевыводящих путей;
- гепатомегалия неясной этиологии;
- повреждения органов брюшной полости и забрюшинного пространства;
- заболевания поджелудочной железы;
- заболевания селезенки, спленомегалия неясной этиологии;
- заболевания и повреждения почек и мочевыводящих путей;
- аномалии органов брюшной полости и забрюшинного пространства;
- заболевания надпочечников;
- заболевания и повреждения брюшной аорты и ее ветвей;
- заболевания и повреждения нижней полой и воротной вен, их притоков (например, при портальной гипертензии, тромбозе).

Компьютерная томография малого таза

Изучение органов малого таза все еще не теряют своей актуальности, несмотря на существующий в наши дни приоритет более информативной для данной области магнитно-резонансной томографии. Чаще всего, выбор в пользу КТ останавливается в случаях, когда нужно выполнить в

одно и то же время изучение нескольких областей (грудной клетки, брюшной полости и малого таза), при наличии противопоказаний к проведению МРТ (абсолютных и относительных) и тяжелом состоянии больных.

КТ органов малого таза позволяет диагностировать:

- заболевания и повреждения мочевыводящих путей;
- заболевания матки, яичников (в частности, опухолевые и воспалительные, оценке зон их распространенности);
- заболевания предстательной железы (преимущественно для диагностики распространенности опухолевого процесса);
- структуру, состояние регионарных лимфоузлов;
- заболевания и повреждения подвздошных сосудов (аневризма, стеноз, расслаивающаяся аневризма);
- заболевания и повреждения костных структур таза.

Компьютерная томография головного мозга

Изучение головного мозга, сейчас, в первую очередь, делают в случае травматического повреждения и при тех же условиях, когда сделать МРТ невозможно.

КТ довольно информативна в выявлении таких состояний, как:

- опухолевые заболевания головного мозга;
- мальформации сосудов головного мозга, в том числе и интракраниальных;
- заболевания и повреждения костей черепа и краниовертебрального перехода;
- острые и хронические нарушения мозгового кровообращения;
- черепно-мозговая травма любой степени тяжести;
- последствия перенесенных травм и воспалительных заболеваний (кисты, гидроцефалия, атрофия коры).

Компьютерная томография позвоночника

Компьютерная томография позвоночника и костей с использованием передовых программ постпроцессинговой обработки вышли на качественно новый уровень. Анализ послойных изображений и получение

трехмерных (объемных) позволяет детализировать всю совокупность изменений:

- дегенеративных;
- травматических и опухолевых процессов позвоночника, которые изображены на рисунке 7, переломы костей;
- аномалии развития;
- послеоперационные изменения;
- патологические изменения в суставах и окружающих мягких тканях при наличии клинических признаков заболевания (артралгии, ограничение подвижности сустава, нарушение опорной функции нижней конечности).

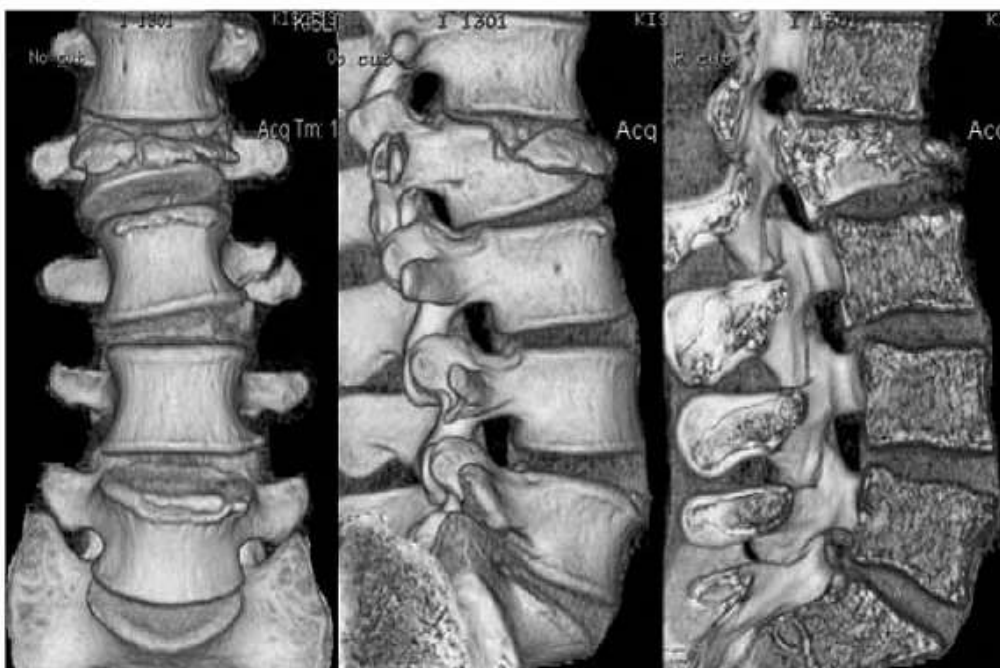


Рисунок 7 – КТ при травме позвоночника

Компьютерная томография шейного отдела

Дополняет список возможностей КТ — исследование шеи, которое выполняется при заболеваниях и повреждении органов шеи (гортани, щитовидной железы, в том числе опухолевые, для оценки распространенности процесса);

- определении состояния лимфоузлов шеи;

- заболеваниях и повреждениях магистральных сосудов шеи. [6],[7]

4. Вопросы врачу

Для пациентов с каким диагнозом или симптомами Вы назначаете компьютерную томографию?

- Существуют несколько причин для назначения КТ. Например, с подозрением на опухолевидное образование, после неточной диагностики на рентгенограмме лёгких, для исключения метастазов при раковых заболеваниях и т.д. Причины бывают разные и их много.

Как часто можно проходить компьютерную томографию?

- Не чаще чем раз в 3 месяца из-за большой лучевой нагрузки.

Насколько информативный результат КТ?

- На сегодняшний день КТ является одним из самых достоверных методов исследования.

Вредно ли КТ?

- Да вредно, потому что при исследовании КТ человек получает большую дозу лучевой нагрузки, но при нечастом использовании вред минимален. [8]

Заключение

В заключение хочется сказать, что КТ – это один из самых важных аппаратов в современной медицине. Когда врачи затрудняются поставить диагноз, компьютерная томография помогает им. Этот поистине волшебный аппарат, способный исследовать почти любой орган человеческого организма без вреда для него. КТ не надо бояться, ведь в некоторых случаях только этот аппарат сможет спасти Вам жизнь.

Литература

1. Компьютерная томография (КТ). Больница В.В. Вересаева. Москва. Инновации и милосердие [Офиц. сайт] <https://gkb81.ru/procedures/kompyuternaya-tomografiya-kt/> (дата обращения 10.07.2020).

2. Кларов Л.А., Платонов Ф.А. Компьютерная (КТ) или магнитно-резонансная (МРТ) томография? // Наука и техника в Якутии. 2017. № 1. С. 28-31. KiberLeninka [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternaya-kt-ili-magnitno-rezonansnaya-mrt-tomografiya> (дата обращения 08.11.2020).
3. Маслов Н. Все делают томографию лёгких, но зачем? Когда она полезна, а когда опасна. iPhones.ru, 2020. [Электронный ресурс] <https://www.iphones.ru/iNotes/kak-rabotaet-kompyutern> (дата обращения 02.11.2020).
4. Компьютерная томография. Одесский национальный медицинский университет. 2016. Studfiles [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/5164046/page:2/> (дата обращения 02.11.2020).
5. Терновой С.К., Сеницын В.Е. Развитие компьютерной томографии и прогресс лучевой диагностики. Институт кардиологии им. А. Л. Мясникова РКНПК МЗ и СП РФ. 2018. Сайт Александра Дидковского. [Электронный ресурс] https://trauma.ru/content/articles/detail.php?ELEMENT_ID=20277 (дата обращения 02.11.2020).
6. Медика [Электронный ресурс] <http://www.spbmedika.ru/articles/vidy-kompyuternoy-to> (дата обращения 04.11.2020).
7. Диагностика КТ [Электронный ресурс] <https://diagnost-kt.org.ua/author/elisson/> (дата обращения 13.11.2020).
8. Врач терапевт Викторова Лариса Виссарионовна.

ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ (ПЭТ КТ)

**М.И. Моисеева, С.С. Осипова, Е.Э. Попова,
С.А. Михайлова, К.М. Набатова**

В данной статье представлена основная информация о позитронно-эмиссионной томографии. Мы рассмотрели, что такое ПЭТ КТ, её история и перспективы развития, из чего состоит томограф и как он работает. Конечно, мы не оставили без внимания саму процедуру, её эффективность, цены и возможные осложнения.

Введение

В социальных сетях 2020 год начался с прощального поста питерского онколога Андрея Павленко, который сам обнаружил у себя рак и в течение полутора лет на странице в Фейсбуке, в многочисленных интервью, выступлениях на телевидении рассказывал о своей борьбе с недугом.

«Мой жизненный путь завершается, к сожалению, болезнь оказалась коварнее и её развитие не оставило мне шансов», – написал доктор на своей страничке, а 5 января его не стало. По интернет-сообществу прокатилась волна отчаяния. Люди писали, что если от рака умер ведущий онколог страны, руководитель клиники высоких технологий, имевший доступ к самым прогрессивным лекарствам и самым продвинутым технологиям, то на что рассчитывать рядовым гражданам, которым, чтобы получить назначение, нужно отсидеть в очереди к районному врачу-онкологу и найти нужные лекарства в аптеках? Есть ли у них шанс на излечение?

Заместитель директора НМИЦ онкологии им. Блохина Александр Петровский прокомментировал эту ситуацию: Шанс на излечение от рака не зависит ни от должности, ни от учёной степени пациента, а определяется исключительно стадией заболевания и чувствительностью опухоли к назначенному лечению. Если говорить об Андрее Павленко, ему действительно «просто не повезло», как он и написал в своём прощальном сообщении. Если бы болезнь у него была обнаружена на 1–2-й стадии, шанс на выздоровление оценивался бы в 90%. При распространённом раке желуд-

ка (3–4-й стадии) в 90% случаев исход неблагоприятный. Андрей как профессионал с момента постановки диагноза реально оценивал свои шансы и во всех интервью говорил, что шансы победить болезнь у него невелики.

Также хочется привести статистические данные. В прошлом году в России насчитывалось 640 тысяч больных онкологией. Тогда как в 2018 году их было 624 тысячи человек. Но медики не спешат паниковать. Напротив, они связывают рост числа заболевших не с резким увеличением количества раковых опухолей, а с улучшением диагностики заболевания. Всё чаще в больницах и поликлиниках стали применять ранний скрининг, то есть обнаружение рака на начальных стадиях.

Оба этих факта говорят нам о том, что диагностика рака на ранней стадии развития – большая часть успешного лечения. Поэтому сегодня мы расскажем об одном из приборов, способных обнаружить опухоль на первых стадиях её образования [1].

1. Что такое ПЭТ-КТ

Итак, одним из видов компьютерной томографии является позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). – это диагностический метод ядерной медицины, в котором используется сканер особого типа и меченые атомы (радиоактивное химическое вещество) для просмотра внутренних органов. Особенно эффективно ПЭТ КТ выявляет раковые опухоли на ранней стадии развития [2].

ПЭТ-КТ позволяет специалисту увидеть, где именно находится ткань, в работе которой есть отклонения от нормы. Если рассматривать более подробно, то с помощью ПЭТ можно выявить:

- проблемы, связанные с нервной системой, контролируя ток крови к мозгу;
- раковые опухоли с точностью до миллиметра (а также определение степени развития рака и помощь врачам при выборе стратегии лечения или оценки качества проводимого лечения);
- повреждённые ткани сердца и других внутренних органов.

2. Историческая справка

В 50-х годах двадцатого столетия, во-первых, появилась возможность регистрировать аннигиляцию – процесс взаимоуничтожения позитронов и электронов, испускаемых радиоактивным атомом. Во-вторых, американский физик Майкл Тер-Погосян выдвинул предположение о том, что несмотря на короткое время полураспада радиоактивных изотопов углерода, они пригодны для изучения обмена веществ в отдельном органе или ткани.

Первый прототип ПЭТ-сканера появился в 1952 году Массачусетском госпитале. Врачи получали только одно двумерное изображение, а не их последовательность, так как сканер имел только два детектора. Несмотря на это, можно было обнаружить опухоль и ее примерное местонахождение, но только в том случае, если опухоль была размером с кулак.

В дальнейшем совершенствование ПЭТ шло по двум направлениям: во-первых, увеличивалось число и расположение регистрирующих радиоактивный распад датчиков, а, во-вторых, развивались методы математической обработки полученных данных.

В начале 60-х годов инженеры увеличили число датчиков до 32 штук и расположили их кольцом вокруг тела пациента. По-прежнему можно было получить только один срез, но размер распознаваемой опухоли уменьшился до 2 см.

Разработчики следующего поколения ПЭТ-сканеров решили уменьшить размер датчиков, повысить их количество, и расположить их в несколько колец вокруг тела пациента. Благодаря этому в 1968 стало возможным в рамках одной процедуры получить несколько срезов с разрешением менее 1 см.

В конце 1970-х ПЭТ-сканеры стали широко использовать в клинической практике. После многих лет исследований в университете штата Пенсильвания было создано устройство, названное PENN-ПЭТ.

Сочетание компьютерной и позитронно-эмиссионной томографии является революционным достижением. Метод позволяет не только с большей точностью установить наличие и стадию онкологического забо-

левания, но и снизить количество проводимых инвазивных диагностических процедур.

В 1980-х ПЭТ стали применять в кардиологии в рамках диагностики ишемической болезни сердца на бессимптомной стадии.

Дальнейшее усовершенствование ПЭТ-сканеров состояло в повышении пространственного разрешения, чувствительности детекторов, увеличении числа одновременно получаемых срезов и разработке новых алгоритмов реконструкции изображений.

В начале 90-х онкохирург Руди Эгели (Rudi Egeli) из Женевского университета предложил разместить в зазорах между датчиками ПЭТ-сканера оборудование для проведения компьютерной томографии, чтобы получать в ходе одного исследования данные о структуре и обмене веществ в организме пациента. Именно такие комбинированные ПЭТ/КТ-сканеры сейчас используются в современных диагностических центрах по всему миру.

Первый позитронно-эмиссионный томограф для исследования всего тела в РФ начал функционировать в 1997 году на базе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий [3].

3. Устройство

Метод основан на введении короткоживущих радиоактивных изотопов в кровеносное русло с последующей регистрацией их распределения в мозге по испускаемым позитронам. В тканях позитрон проходит 0,5-3 мм, и встречается с электроном, происходит аннигиляция (т.е. объединение позитрона с электроном среды) и возникают два гамма-кванта, разлетающихся строго в противоположных направлениях. Кванты регистрируются детекторами позитронно-миссионного томографа, кольцом охватывающим голову обследуемого. Из блока обработки совпадений в компьютер пропускаются только парные импульсы [4]. Устройство ПЭТ-сканера представлено на рисунке 1.

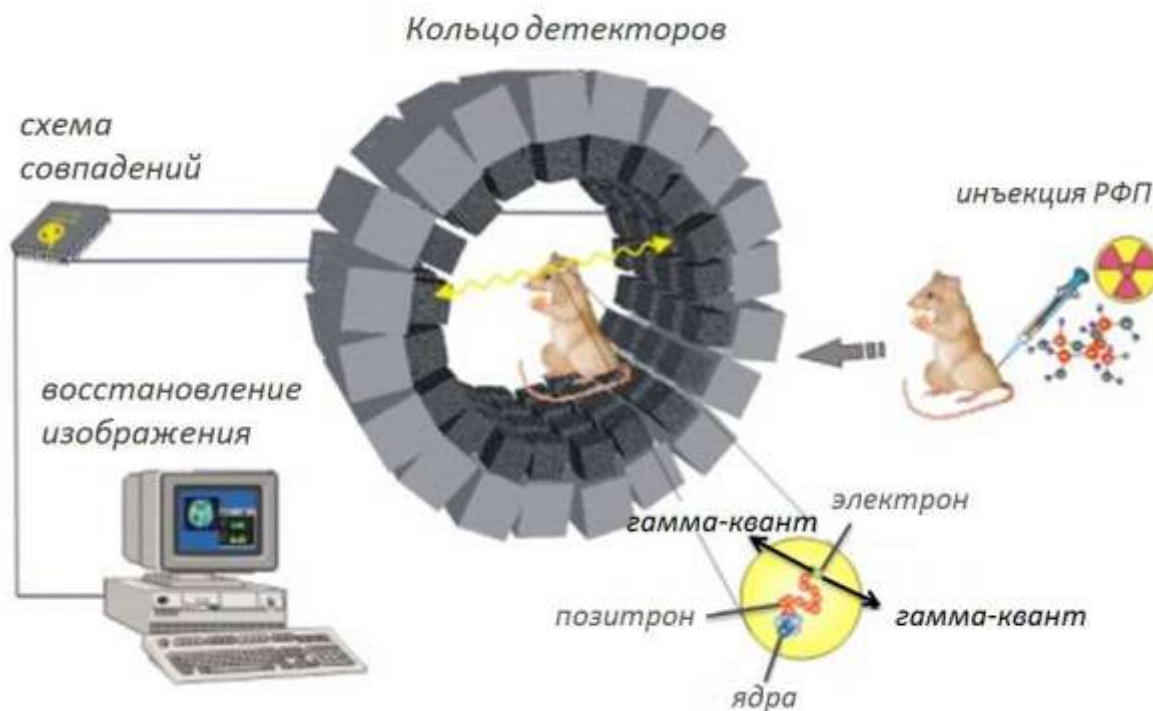


Рисунок 1 – Устройство ПЭТ-сканера

4. Принцип работы

Принцип диагностики основывается на скоростной разнице обменных процессов в организме. Перед процедурой в организм пациента вводится специальный быстро распадающийся радионуклидный препарат. При распаде препарата возникают позитроны, которые взаимодействуют с электронами, образуя гамма-кванты в процессе взаимной аннигиляции.

Гамма-кванты регистрируются специальным оборудованием (сканером для ПЭТ-КТ). Затем информация обрабатывается компьютером, полученные данные преобразуются в цветное изображение. Преобразование информации со сканера в цветное изображение представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Преобразование информации со сканера в цветное изображение

В составе препарата находится фтор или йод. Чем больше накопилось препарата в конкретных участках, тем они становятся ярче. Такие области называются «горячими». К «холодным» относят тусклые участки изображения. В злокачественных новообразованиях уровень обменных процессов намного выше, чем на здоровых участках. Поэтому раковые опухоли подсвечиваются очень ярко.

Таким образом, быстро и достоверно определяются пораженных участки. Достоверность и эффективность данного метода исследования напрямую зависит от препарата, используемого при сканировании. В настоящее время основные фармакологические субстанции, применяющиеся в ПЭТ-методике: фтор-18; кислород-15; азот-13; углерод-11. Наиболее предпочтителен первый вариант, так как фтор-18 менее всего радиоактивен и обладает длительным периодом полураспада. Весьма широко используется в ПЭТ-сканировании фтороксиглюкоза, которая поглощается теми клетками, которые активно потребляют глюкозу для своего роста и развития. Такой метод эффективен при диагностике злокачественных

новообразований, особенно различного типа лимфом, т.к. ткани с высоким поглощением глюкозы накапливают заряд и хорошо видны при исследовании [5]-[7].

5. Виды ПЭТ

У позитронно-эмиссионного сканирования имеется несколько видов, исходя из разновидности используемого препарата, для своеобразного подсвечивания исследуемых областей. На сегодняшний день не существует универсального вещества, которое будет отличаться одинаковой эффективностью для диагностирования разных органов. Совмещенная томография проводится со следующими видами средств:

1. С холином и радиоактивными веществами. Данный вид показан при исследовании печени, головных структур, предстательной железы.
2. С метионином и радиоактивными элементами. Рекомендовано к использованию при неврологии, ишемии, эпилепсии, инфаркте миокарда.
3. С фтордезоксиглюкозой (далее – ФДГ) и радиоактивными веществами. Применяют для обследования матки, кожного покрова, кишечника, лимфоузлов, молочной железы, щитовидной железы [8].

6. Порядок проведения исследования

За день до проведения обследования пациент ограничивает физические нагрузки, прием лекарств, алкоголя. Перед процедурой нельзя курить. Следует прекратить прием пищи за 10-12 часов до процедуры. В день обследования больному внутривенно вводят радиофармпрепараты (далее – РФП). Обычно вводимая доза ФДГ 100 – 200 МБк на 1 кв.м поверхности тела в 3-5 мл физиологического раствора. После этого следует экспозиция в течение 60-90 мин абсолютного покоя, лёжа в затемнённом помещении. Непосредственно перед исследованием пациенту необходимо освободить мочевой пузырь. Исследование проходит в положении больного на спине, руки за головой. Для исключения искажения результатов во время сканирования пациенту необходимо сохранять неподвижность. Продолжитель-

ность процедуры составляет от 10 до 25 минут и зависит от режима сканирования (отдельный орган, все тело), веса пациента, характеристик сканера, активности введенного препарата. Сначала выполняют КТ в режиме низких доз, затем ПЭТ, потом при необходимости внутривенное контрастирование для КТ. Для ускорения вывода радионуклидов и контраста по окончании процедуры рекомендуется пить много воды.

Вероятность ошибки при проведении ПЭТ КТ существует на стадии получения или расшифровки результата исследования. Ошибочные данные получаются из-за:

- случайных движений во время процедуры;
- ношения металлических предметов;
- неправильной подготовки к процедуре;
- высокого уровня глюкозы в крови;
- хаотического проявления патологии;
- наличия послеоперационных артефактов;
- остаточного эффекта перенесенных лучевой или химиотерапии [9].

7. Противопоказания и возможные осложнения

Абсолютным противопоказанием для ПЭТ КТ-диагностики является любой срок беременности и другие условия, при которых воздействие ионизирующего излучения недопустимо. Грудное вскармливание, однако, не является ограничением для проведения КТ-обследования. Для защиты малыша на время действия радиофармацевтических препаратов, вводимых в организм матери, можно перейти на искусственное вскармливание на 6-12 часов. Пациенты с острой или хронической почечной недостаточностью нуждаются в особом внимании при проведении ПЭТ КТ.

Задержки и накопление радионуклидов в тканях, которые происходят при дисфункции почек, могут значительно фальсифицировать результаты диагностики. Поэтому при анализе полученных результатов следует учитывать эти возможные отклонения. В случае значительных затруднений диагноз по РФП должен быть заменен альтернативным методом диагностики (КТ, МРТ, УЗИ). Поскольку нормальный углеводный обмен явля-

ется необходимым условием для применения фтордезоксиглюкозы, применение этого метода в диагностике сахарного диабета требует коррекции уровня глюкозы. Если невозможно достичь уровня глюкозы крови ниже 9 ммоль/л, обследование проводится с помощью радиоизотопа на основе метионина. Введение гораздо более высокой дозы фтордезоксиглюкозы у пациентов с высоким уровнем сахара в крови (выше 10 ммоль/л) может вызвать гипергликемию. В лучевой терапии желательно поддерживать 3-месячный интервал между лучевой терапией и ПЭТ, так как существует возможность накопления РФП в постлучевых измененных тканях. В ранней послеоперационной фазе повышенный захват изотопов обнаруживается в месте открытой биопсии. Исходя из этого, желательно проводить исследование как минимум через 4 недели после операции.

Из-за того, что используемые при химиотерапии цитотоксические медицинские препараты достаточно долго «задерживаются» в организме и могут привести к ложной диагностике, процедуру можно проводить только спустя 3 недели после окончания курса.

ПЭТ КТ диагностика не проводится и при обострении инфекций, которые сопровождаются локализованными нагноениями (абсцессы), а также при саркоидозе. Такие заболевания могут повлиять на исход обследования и дать ложноположительные результаты. Важно учитывать частоту проведения ПЭТ КТ за год. Вредность ПЭТ КТ связана с двумя факторами: воздействием рентгеновского излучения от компьютерного томографа и гамма-излучением распадающегося изотопа. Лечащим врачом определяются показания, основываясь на клинической картине заболевания, и проводить подобное исследование в рутинном порядке не следует [9].

8. Цены на процедуру

Цены на процедуру зависят от органов, которые становятся объектом исследования, а также от ее продолжительности и применяемого препарата. Процедура ПЭТ, совмещенная с КТ, относится к дорогостоящим методам диагностики. Пациент выплачивает стоимость радиоактивного препарата, томографии, отсроченное ПЭТ-сканирование, диск и снимки с

изображениями. Средняя цена за процедуру составляет 60-80 тыс. руб. Отдельные клиники предлагают программу скидок 10-25% на второй и последующий сеансы диагностики. Информативность ПЭТ, приближенная к 100% и чувствительность 97-98% позволяет за одну процедуру выяснить характер заболевания. Правильный подход к методике определяет верный выбор ведения больных и плана лечения, от которых зависит здоровье и жизнь пациента. Дороговизна ПЭТ КТ оправдывает набор и ценность диагностической информации, которую невозможно получить любым другим известным способом.

Стоимость самих же аппаратов для ПЭТ КТ варьирует в зависимости от технических характеристик от 4 млн. рублей до 30 млн. рублей [10].

9. Перспективы развития

Насколько сегодня в России развита инфраструктура центров ядерной медицины? Еще десять лет назад ПЭТ-исследование в нашей стране было уникальной процедурой, доступной лишь в нескольких крупных федеральных учреждениях. За это время количество ПЭТ-центров в России увеличилось в восемь раз. Ситуация сильно изменилась в большей степени благодаря развитию частной медицины. Около 60% таких центров сегодня составляют госучреждения и 40% приходится на частный бизнес. Кроме того, ПЭТ-исследование вошло в тариф обязательного медицинского страхования (ОМС). Таким образом, метод стал доступен большему числу пациентов. По нашей оценке, сейчас в России работает около 60 ПЭТ-сканеров, или 0,4 на 1 млн человек. Однако этого еще недостаточно, чтобы обеспечить необходимый уровень доступности методов ПЭТ для пациентов по всей стране. Нужны новые центры или отделения на базе крупных больниц.

Серьезным стимулом для развития ядерной медицины стала реализация проектов в рамках государственно-частного партнерства с участием АО «Роснано». Появились крупные частные сети, которые последние десять лет активно инвестируют в развитие радионуклидной диагностики. Расширение области применения ПЭТ-технологий также будет способ-

ствовать развитию соответствующей инфраструктуры. Одно из наиболее перспективных направлений в мировой ядерной медицине сегодня – применение ПЭТ КТ-диагностики в кардиологии.

В США и Европе число таких исследований растет ежегодно. С учетом того что в России борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями вошла в число ключевых задач, реализуемых в рамках нацпроекта, скорее всего эти технологии получат более широкое распространение и в нашей стране [11].

Заключение

В заключение хотелось бы сказать, что позитронно-эмиссионная томография прогрессивный метод диагностики не только раковых образований на ранних стадиях, но и сердечно-сосудистых и нервных заболеваний. [11] Сегодня существуют различные виды ПЭТ, каждый из которых проводит диагностику определённых органов. Цены на процедуру довольно высокие для среднестатистического гражданина РФ, но есть возможность пройти обследование бесплатно в государственных учреждениях. Со временем эффективность и легкость в использовании оборудования будет увеличиваться, как и его роль в жизни людей

Литература

1. Рак уже не приговор // Аргументы и Факты. 26.01.2020. [Электронный ресурс] https://aif-ru.turbopages.org/aif.ru/s/health/life/rak_uzhe_ne_prigovor_50_onkologicheskikh_pacientov_polnostyu_izlechivayutsya (дата обращения 24.10.2020)
2. О тонкости диагностики в онкологии при помощи ПЭТ КТ <https://curati.ru/o-tonkostyax-diagnostiki-v-onkologii-pri-pomoshhi-pet-i-kt.html> (дата обращения 17.10.2020)
3. История метода ПЭТ/КТ. ПЭТ Технолоджи [Офиц. Сайт] <https://www.pet-net.ru/pet-kt-diagnostika/istoriya-metoda-pet-kt.php> (дата обращения 18.10.2020)
4. Недорогостоящая конструкция цифрового ПЭТ КТ [Электронный ресурс] <https://en.ppt-online.org/128963> (дата обращения 20.10.2020)
5. Что такое ПЭТ исследование [Электронный ресурс] <http://www.kt-pet.ru/> (дата обращения 20.10.2020)
6. Позитронно-эмиссионная томография [Электронный ресурс] <https://yandex.ru/turbo/illnessnews.ru/s/pozitronno-emissionnaya-tomografiya-pet-kt/https://yandex.ru/turbo/illnessnews.ru/s/pozitronno-emissionnaya-tomografiya-petkt/> (дата обращения 20.10.2020)

7. ПЭТ КТ как современный информативный диагностический метод/ CheckUpAdviser.ru Доступно о методах диагностики [Электронный ресурс] <https://checkupadviser.ru/pet-scan/pet-kt-scan> (дата обращения 22.10.2020)
8. Журавлев А. Позитронно-эмиссионная томография. Diametod.ru Современные методы диагностики [Электронный ресурс] <https://apkhleb.ru/kt/pozitronno-emissionnaya-tomografiya#toc-1> (дата обращения 20.10.2020)
9. Абдулкадыров С.А., Таибова П.А., Акамова У.Г., Позитронно-эмиссионная компьютерная томография в диагностике онкологических заболеваний // Журнал «Вестник ДГМА». 2020. №1(34). С. 50-55, http://vestnikdgma.ru/sites/default/files/vestnik_no1342020.pdf#page=51 (дата обращения 21.10.20)
10. Сканер для КТ – цены. Радиомедцентр [Официальный сайт] <https://radio-med.ru/makers/kt/> (дата обращения 20.10.2020)
11. Радионуклидная диагностика быстро корректирует лечение онкологии // РБК+ 27.08.2020 [Электронный ресурс] <https://plus.rbc.ru/news/5f1839067a8aa946422b2c90> (дата обращения 20.10.2020).

ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

К.Э. Петров, Д.И. Хисматова, С.С. Ерочкина

Данный реферат направлен на изучение такого лекарственного метода, как электрофорез. Мы предлагаем ознакомиться с историей развития, основными видами, плюсами и минусами, а также применением, поэтому целями нашей работы стали: узнать историю развития электрофореза, выделить основные типы электрофореза, выяснить актуальность электрофореза в современном мире, выяснить применение данного метода на практике, поиск плюсов и минусов данного метода.

Введение

Электрофорез – это кратковременное воздействие на организм электрического тока с введением через кожную оболочку лекарственных веществ. Явление электрофореза очень широко используют в биологии и медицине. Метод электрофореза применяют для выделения и анализа индивидуальных белков и нуклеиновых кислот. Помимо этого, его используют для очистки различных веществ, постановки диагностических тестов, изучения подвижности клеток, исследования электрокинетических свойств клеток, тканей и их поверхностей; большое диагностическое значение имеют электрофоретическое разделение ферментов на изоферменты и их количественная и качественная оценка; микроэлектрофорез является одним из основных современных методов в нейрофизиологических, нейрофармакологических и нейрохимических исследованиях.

1. История развития электрофореза

Развитие лекарственного электрофореза, как и других электротерапевтических методов, теснейшим образом связано с достижениями в области электричества. Электрофорез открыл профессорами Московского университета П.И. Страховым и Ф.Ф. Рейссом в 1809 году. Однако, из-за малой распространенности учебных пособий, в которых были напечатаны работы Рейса, связанные с исследованием электрофореза, его имя даже не было упомянуто в работах В. Оствальда.

А. Тиселиус впервые нашел практическое применения электрофорезу, придумав аппарат для исследования сыворотки. Первой исследованной сывороткой была сыворотка лошади. Поместив ее под воздействие электрофореза, ученый заметил четыре разные полосы, которые были отделены друг от друга. Оказалось, что это была миграция белков крови, трех ее глобулинов (альфа, бета и гамма) и альбумина. В дальнейшем данные исследования проводились на кроличьей и человеческой сыворотке, при которых наблюдались схожие результаты.

В 1950 году был открыт более широкий метод применения электрофореза. В результате данного метода белки делились на фильтровальной бумаге, которая разрезалась на полосы и окрашивалась в разные красители. После чего данную бумагу исследовали на содержание белков в этих растворах. Следует отметить, что ранее никому не удавалось наблюдать миграцию белков. Многие работы А. Тиселиуса, связанные с электрофорезом и его применением получили широкое применение в медицине.

2. Физико-химические основы лекарственных веществ

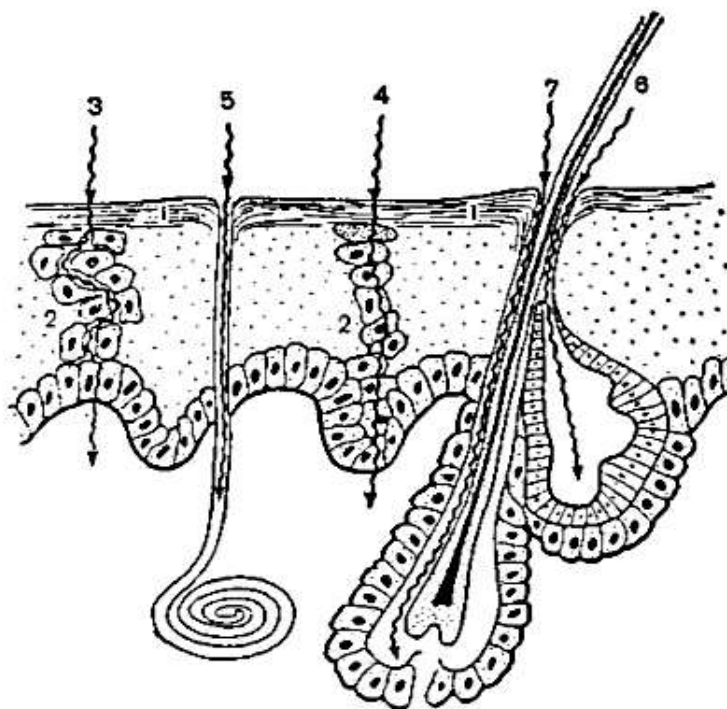
Ткани человека представляют собой проводник особого рода, они обладают ионной проводимостью, и их электропроводность в первую очередь определяется концентрацией ионов в тканях. Наибольшей электропроводностью обладают жидкие среды организма (кровь, лимфа, желчь) и мышечные ткани. Электрический ток, преодолев сопротивление кожи, в дальнейшем распространяется по тканям по пути наименьшего омического сопротивления. При возбуждении нервной системы электропроводность тканей повышается. Под влиянием гормональной терапии и хирургического лечения, при многих патологических процессах электропроводность тканей также имеет свойство меняться, что необходимо учитывать при дозировании лекарственного электрофореза. [1]

Прохождение электрического тока через биологические ткани сопровождается рядом физико-химических явлений. Вследствие этого ток поляризации (живые клетки могут накапливать заряды при прохождении

через них постоянного тока) препятствует введению им в организм лекарственных веществ.

Прохождение постоянного тока через биологические ткани может также сопровождаться электроосмосом. Электроосмос – движение воды в электрическом поле по направлению к электроду. Процесс сопровождается переносом растворенных в воде веществ, следовательно, играет определенную роль и в транспорте лекарств при электрофорезе. На долю электрогенного переноса приходится около 90% вводимого электрофорезом вещества, электроосмоса – 3–5% и облегченной диффузии – 5–8%.

Проникновение лекарств через кожу идет следующими путями (рисунок 1): трансэпидермально (через промежутки между клетками рогового слоя и чресклеточно), трансфолликулярно и трансгландулярно (через выводные протоки кожных желез). [2]



Пути проникновения различных веществ и микроорганизмов через кожу: 1 – роговой слой; 2 – кератиноциты; 3 – межклеточный путь; 4 – транс-клеточный путь; 5 – через потовые железы; 6 – через сальные железы; 7 – через волосяные фолликулы

Рисунок 1 – Проникновение лекарств через кожу

Глубина проникновения лекарств имеет большое значение для проявления их лечебного действия. При введении в организм лекарственных веществ с помощью постоянного тока необходимо учитывать: а) движение, обусловленное действием электрического поля во время процедуры; б) движение вещества, происходящее после окончания процедуры и связанное с их диффузией. Исследования некоторых ученых показали, что для проникновения лекарственных веществ необходимо накопление в коже определенного количества вещества. Только в этом случае лекарственные ионы начинают принимать существенное участие в переносе электричества.

3. Виды электрофореза

Введение лекарственных препаратов методом электрофореза в лечебной практике осуществляется следующими токами: 1. Постоянные 2. Диадинамические 3. Синусоидальные модулированные. 4. Флюктуирующие 5. Выпрямленные. Сама процедура делится на четыре разновидности: 1. Ванночковый электрофорез применяют при артритах, артрозах и других заболеваниях суставов и костей. В ванночку, оборудованную электродами, наливают лекарственный раствор. 2. Полостной электрофорез проводится через введение лекарства и одного из электродов в полостной орган – матку, желудок, мочевой пузырь и т.д. Второй электрод располагается снаружи. Между внутренним и наружным электродами образуется поле, усиливающее проводимость лекарственного средства. 3. При внутритканевом электрофорезе лекарство вводят внутримышечно. Электроды размещают снаружи, в месте укола. Такой способ особо эффективен при лечении органов дыхания. [4]

4. Электрофорез в современном диагностическом процессе

Основой современной диагностики в любой области медицины является техническое обеспечение исследований, включаемых в сложный цикл медицинского обследования. В современном мире требуется проведение наиболее информативных и экономичных исследований. Биохими-

ческий метод – электрофорез представляет все развивающуюся область исследований. Но из-за неполноценной информированности врачей о методах электрофореза его перспективность в лабораторных исследованиях еще не полностью оценена.

Электрофорез - это средство для оценки широкой области различных жизненных процессов.

В настоящее время большую популярность имеет электрофорез белков. С его помощью можно получить большой объём диагностической информации, особенно если дополняется такими тестами как иммуноэлектрофорез.

Электрофоретическое разделение протеинов даёт возможность изучить их биологические и физические характеристики, являясь индикатором заболеваний печени и почек, иммунной системы, злокачественной патологии, острых и хронических инфекций, генетических поломок, заболеваний центральной нервной системы и многих других видов патологии. В последние годы все большую диагностическую важность приобретает электрофорез высокого разрешения протеинов, выделяющий около 15 фракций белков. Число фракций зависит от среды, на которой происходит разгонка, и техники окрашивания. Вместе с числом компонентов, их качественной и количественной характеристикой иногда может возникнуть потребность дальнейшего более подробного исследования. В 1976 году для изучения иммуноглобулинов был предложен метод иммунофиксации. [5]

Отсюда следует, что далеко не полный список возможностей клинического применения электрофореза, формирует представление об огромной значимости данного метода для дифференцировки патологических отклонений в сложном процессе диагностических обследований.

Заключение

Факторы внешней среды, участвующие в формировании жизни на Земле. Благодаря им существует возможность нормального протекания жизненных процессов. Недостаточное взаимодействие с внешней средой

может привести к нарушениям нормального протекания жизненных процессов.

Достижения в области электричества является основой для развития лекарственного электрофореза, как и других электротерапевтических методов.

В настоящее время значительная часть людей пользуются методами электрофореза, используемыми в санаториях-профилакториях для оздоровления.

В современном мире физиотерапия имеет широкий диапазон применения в различных областях. Метод электрофореза часто используют в исследовательских методах.

Сфера применения лекарственного электрофореза является очень широкой. Он используется не только как лечебная процедура, но и профилактическая.

Литература

1. Комарова Н.В., Екимов А.Л., Апраксин В.Ф. Применение капиллярного электрофореза в анализе лекарственных средств. – М.: КноРус, 2019. – 175 с.
2. Улащик В.С. Электрофорез лекарственных веществ: руководство для специалистов / Национальная академия наук Беларуси, Институт физиологии. - Минск: Белорусская наука, 2010.
3. Улащик В. С. Теория и практика лекарственного электрофореза. – Минск: Беларусь, 1976.
4. Электрофорез. Нефтяник. Медико-санитарная часть. [Офиц. Сайт] <https://clinica72.ru/ru/clinic/82> (дата обращения 16.11.2020)
5. Электрофорез в современной медицине. МедСервис. Медицинское лабораторное диагностическое оборудование [Офиц. Сайт] <http://medservice.info/specialist/stati/elektroforez-v-sovremennom-diagnosticheskom-protse/> (дата обращения: 01.11.2020).

ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЁГКИХ

Г.С. Ильин, А.Е. Сныткин, В.Д. Садовников,
Н.Ю. Щепотьев, И.Д. Гарбузов

Данная статья посвящена такому медицинскому оборудованию, как искусственная вентиляция лёгких (ИВЛ). Целью нашей работы стало изучение принципа действия аппаратов, которые поддерживают лёгочную активность. Мы рассмотрели историю создания данного прибора и его применение в медицине и при актуальной для нас пандемии COVID-19. Узнали цену такого оборудования и сравнили отечественные и зарубежные аналоги. В результате мы смогли найти подходящий материал, чтобы чётко и ясно донести информацию до читателя.

Введение

В настоящее время сложно представить инвентарь реаниматолога без аппаратов лёгочного обеспечения. Попробуем разобраться и понять, что же такое искусственная вентиляция лёгких.

Аппарат искусственной вентиляции лёгких (аппарат ИВЛ) — это медицинское оборудование, которое предназначено для принудительной подачи газовой смеси (кислород и сжатый осушенный воздух) в лёгкие с целью насыщения крови кислородом и удаления из лёгких углекислого газа.

Данные приборы очень важны в современной медицине, ведь их ничем не заменить. Это касается как самых простых ручных, так и самых современных и сложных. [\[1\]](#)

1. История аппарата искусственной вентиляции легких

Искусственная вентиляция лёгких была известна людям ещё очень давно. История подобного способа оказания помощи человеку берёт начало в глубокой древности, примерно 4 тысячи лет назад. Об этом свидетельствуют разные литературные источники, не зря издавна существует известная идиома «вдохнуть жизнь в кого-либо», которая намекает на применение искусственной вентиляции лёгких.

Средние века и Эпоха Возрождения

Искусственное дыхание регулярно применялось людьми для оживления родившихся в асфиксии младенцев, для помощи при затруднении самостоятельного дыхания или при внезапной смерти. Но существенный сдвиг в этом способе медицинской помощи произошёл благодаря Парацельсу, швейцарскому алхимику и врачу в 1530 году. Он использовал кожаные меха, предназначенные для раздувания огня, сделав вентиляцию лёгких через специальный ротовой воздуховод. Спустя десяток лет Базель, один из основоположников анатомии, так же внёс вклад в развитие ИВЛ. Он изобрёл метод вентиляции лёгких с помощью трубки, проведённой в трахею. Позже, в 18 веке, Британский священник Stephen Hales создал первый ручной аппарат для вдувания воздуха в лёгкие, который был назван «респиратором».

Новое время

У средневековых методов помощи людям с дыхательной недостаточностью присутствовал ряд проблем. Одной из них являлись описанные автором наблюдения разрывы лёгких мехами, воздух подавался слишком резко и иногда в избыточных количествах. Но француз Леруа д'Этиоль предложил дыхательные меха со специальной измерительной шкалой для дозировки объёма вдоха. Конечно, с появлением в жизни людей электричества меха стали переводить на электрический привод вместо ручного, что оказалось ещё более эффективно. Шведский хирург Кларенс Краафорд в 1938 изобрёл автоматический «Спиропульсатор». Как известно, особый толчок прогрессу всегда дают войны. И после Второй Мировой Войны аппараты ИВЛ становятся неотъемлемой принадлежностью наркозной аппаратуры. «Sulla» стал первым серийный наркозный аппаратом с автоматизированной вентиляцией лёгких. Однако ключевым моментом в становлении аппаратов ИВЛ важнейшей частью современного медицинского дела стоит считать эпидемию полиомиелита, вспыхнувшую в Европе в 1952 году. Больные массово нуждались в искусственной вентиляции лёгких, и для их нужд шведом Энгстрёмом был создан аппарат объёмного вытеснения. Новый прибор сразу пошёл в серийное производство и перело-

мил эпидемиологическую ситуацию. Он стал прототипом для множества последующих моделей в будущем, которые используются в наши дни. [\[2\]](#)

2. Виды аппаратов искусственной вентиляции легких

Существует два основных вида ИВЛ — инвазивные и неинвазивные, рассмотрим эти виды подробнее.

Инвазивные ИВЛ (далее ИИВЛ)

Инвазивные аппараты обеспечивают принудительную прокачку легких кислородом и полностью берут на себя функцию дыхания. Кислородная смесь подается напрямую в эндотрахеальную трубку, помещенную в рот либо же нос, в особо сложных случаях проводится трахеостомия - хирургическая операция, во время которой рассекается передняя стенка трахеи для введения эндотрахеальной трубки напрямую в ее просвет. Стоит отметить, что инвазивная вентиляция очень эффективна, но обладает рядом ограничений и возможных рисков, так что применяется лишь в случаях, когда невозможно помочь больному без инвазивного вмешательства.

Показания к применению ИИВЛ

Подключенный к аппарату человек не способен говорить, принимать пищу. Интубация доставляет не только неудобства, но и сильные болезненные ощущения, в связи с этим, как правило, вводят в медикаментозную кому. Стоит отметить, что процедура проводится только в условиях стационара под присмотром врачей-специалистов.

Инвазивную респираторную поддержку применяют в следующих случаях:

- отсутствие эффекта или непереносимость ИИВЛ у пациента
- повышенное слюноотечение или образование чрезмерного количества мокроты
- экстренная госпитализация и необходимость экстренной интубации
- состояние комы или нарушений сознания
- вероятность остановки дыхания
- наличие травм лица

Принцип работы ИИВЛ

Для краткосрочной ИВЛ эндотрахеальная трубка вводится в трахею больного через рот либо же нос. Для долгосрочной ИВЛ на шее пациента делается разрез передней стенки трахеи, куда и помещается трубка. Через трубку в легкие подается дыхательная смесь. Риск утечки воздуха сведен к минимуму, следовательно, больной гарантированно получит нужное количество кислорода.

Состояние больного можно контролировать с помощью монитора, на который выводятся параметры дыхания и другие физиологические показатели.

Особенности ИИВЛ:

- аппарат полностью берет на себя функцию дыхания;
- нуждается в регулярной проверке рабочего механизма;
- процедура обязательно должна контролироваться врачом.

Неинвазивные ИВЛ (далее НИВЛ)

Неинвазивная вентиляции легких – это респираторная поддержка организма без инвазивного доступа (отсутствуют эндотрахеальные трубки), вместо этого используют такие средства, как: носовая либо же носоротовая маска, шлем, мундштук. В отличие от инвазивного метода, человек продолжает дышать самостоятельно, но получает аппаратную поддержку на вдохе.

Показания к применению НИВЛ

Неинвазивную поддержку применяют в следующих случаях:

- одышка в состоянии покоя;
- частота дыхания более 25, участие в дыхании вспомогательной мускулатуры;
- гиперкапния;
- уровень pH меньше 7,35 и его стремительное падение;
- симптоматическое отсутствие положительного эффекта от кислородотерапии;
- гипоксемия и расстройства газообмена;

- повышение сопротивления дыхательных путей в 1,5-2 раза относительно нормы.

Для проведения неинвазивной вентиляции пациент должен находиться в сознании и быть в состоянии выполнять указания врачей. Должна быть явная перспектива стабилизации больного в течение нескольких суток.

Противопоказаниями к использованию НИВЛ являются:

- кома;
- остановка сердца;
- остановка дыхания;
- состояние, требующее немедленной интубации.

Преимущества НИВЛ

По сравнению с ИИВЛ методика лечения является более простой и комфортной для пациента.

Основными преимуществами являются:

- сеанс интубации легко начать и завершить
- пациент сохраняет способности к речи, приему пищи
- процедура не вызывает осложнений и механических повреждений дыхательных путей
- воздух, проходящий через дыхательные пути, увлажняется и согревается естественным путем
- НИВЛ можно использовать на ранней стадии лечения, это сокращает общее время выздоровления и уменьшает вероятность возникновения осложнений
- после завершения отсутствует период «отлучения от респираторов»

[\[3\]](#)

3. Стоимость ИВЛ

Как уже было описано, искусственная вентиляция лёгких может быть от самой простой до сложной и профессиональной. Цена варьируется от 5000 до нескольких миллионов русских рублей на состояние 2020 года.

На рисунке 1 изображён аппарат искусственной вентиляции лёгких ручной Mederen – 4000 руб.



Рисунок 1 – Аппарат искусственной вентиляции лёгких ручной Mederen

Этот аппарат характеризуется неинвазивным способом проведения вентиляции лёгких. И благодаря своим некрупным габаритам, чаще всего используются при реанимациях по пути в госпиталь в каретах скорой помощи. Цена сформирована простой конструкции так называемого мешка Амбу. Производство - Израиль.

На рисунке 2 изображён аппарат ИВЛ Savina Draeger – 250000 руб.



Рисунок 2 – Аппарат ИВЛ Savina Draeger - 250000 руб.

Универсальный аппарат ИВЛ Savina Dräger экспертного класса со встроенной турбиной обеспечивает проведение вентиляции даже при самых тяжёлых клинических состояниях и при любых условиях эксплуатации. Производство – Германия.

На рисунке 3 изображён Аппарат ИВЛ Медпром АИВЛп-2/20-ТМТ – 60000 руб.



Рисунок 3 – Аппарат ИВЛ Медпром АИВЛп-2/20-ТМТ – 60000 руб.

Он предназначен для проведения искусственной вентиляции лёгких и ингаляции кислородом и кислородно-воздушной смесью при дыхательной реанимации в условиях транспорта скорой медицинской помощи, а также на дому. Производство - Россия.

На рисунке 4 изображён аппарат ИВЛ Mindray Synovent E3 – 2 300 000 руб.



Рисунок 4 – Аппарат ИВЛ Mindray Synovent E3 – 2 300 000 руб.

Уникальность современного аппарата ИВЛ SynoVentE3 заключается в том, что помимо стандартной функции вентиляции лёгких он также оснащён эргономичным пользовательским интерфейсом, предполагает конфигурацию дисплея, которая легко адаптируется под требования специалиста для упрощения и ускорения рабочего процесса. [4]

4. Сравнение отечественных и зарубежных аппаратов ИВЛ

Среди производителей аппаратов ИВЛ – множество крупных компаний России, Европы и США, изготавливающих технику для поддержки дыхания.

Для сравнения отечественной и зарубежной техники приведём примеры производящих компаний с каждой стороны. Наибольшей популярностью на российском рынке пользуются следующие иностранные бренды:

1. Dräger (Германия) – одна из лидирующих компаний в этой отрасли. Они достигли высочайшего качества в производстве аппаратов ИВЛ, производя множество разновидностей аппаратов с разной спецификой.

2. Американский производитель Newport Medical Instruments, чья техника признаётся российскими врачами за высокую функциональность и надёжность аппаратов этого бренда в экстремальных условиях, при дефиците времени и высоких рисках для пациента.

Из российских производителей стоит отметить ЗАО «Медпром». Компания также соответствует современным требованиям и стандартам, предлагая инновационные решения и модификации ИВЛ. Петербургский научно-производственный комплекс «Оптима» в том числе является важной частью российского рынка. Компания зарекомендовала себя в последнее десятилетие, главным образом специализируясь на производстве портативных наркозно-дыхательных аппаратов.

Сравнивая российские и зарубежные аппараты ИВЛ, надо сказать, что на данный момент на мировом рынке господствует иностранный производитель, например, Dräger, и их аппараты признаются лучшими. Зарубежная техника превосходит российскую в удобности использования и ка-

честве работы – аппараты хвалят за их бесшумность, что важно для больных людей. Многофункциональность также говорит за технику иностранного производителя: например, Dräger Evita Infinity V500, один из лучших аппаратов, идеально подходит для оказания помощи пациентам разного возраста в критическом состоянии, можно использовать даже для новорождённых малышей. Одним словом, немецкое качество вновь говорит само за себя. Однако отечественная техника не только стремительно развивается вслед за иностранным конкурентом, но и имеет ряд преимуществ. Среди них – высокая надёжность аппаратуры, что позволяет оказать помощь пациенту в любых условиях, а в нашей стране это важно, ведь многие люди проживают и в суровых природных условиях, и в разной мере удалённости от крупных медицинских центров. Аппарат АИВЛп-2/20-ТМТ от компании Медпром является одним из таких примеров, будучи портативным и надёжным устройством, используется в том числе для нужд МЧС. И, конечно, за российского производителя говорит цена – наша аппаратура стоит в среднем вдвое дешевле зарубежной, что делает её доступнее. [\[5\]](#)

5. Коронавирус и ИВЛ

В 2020 году почти вся планета столкнулась с явлением пандемии инфекции COVID-19. Она возникла внезапно, ещё в январе, но до сих пор ни одна страна мира не смогла предоставить вакцину, способную эффективно противостоять коронавирусу. Более того данная пневмония протекает постоянно по разному сценарию: порой без каких-либо симптомов, а иногда с температурой до 40 градусов, полной потерей обоняния, затруднений в дыхании и всеми вытекающими последствиями. Поражение лёгких человека может наступать постепенно, так, что он даже не будет замечать этого до того момента, пока ему не понадобится реанимация. И чтобы они не превратились в пену, врачи используют инвазивную ИВЛ. Многие называют её «последним шансом на спасение». И как бы это драматично не звучало, в чём-то они правы, ведь данную технологию применяют при большом поражении лёгочной ткани (более 75%), с такими пока-

зателями летальность у пациентов очень высока, и для снабжения внутренних органов кислородом нужна именно искусственная вентиляция, иначе пациент умирает. Также очень важно учитывать сатурацию – долю O₂ в крови. Если она ниже 94%, то это говорит о том, что кислород из альвеол не переходит в кровь и функция лёгких нарушена. Меньше 85% - человек сразу попадает в реанимацию, где ему чаще всего подключают инвазивную вентиляцию, которая способна восполнить столько кислорода, сколько нужно организму.

На фоне интенсивного распространением коронавируса спрос на аппараты ИВЛ резко возрос за последний год. Это повлекло за собой проблему нехватки данного оборудования, ведь у большинства стран число мест в отделениях интенсивной терапии не рассчитано на такой обильный поток людей, находящихся в тяжёлом состоянии. К тому же, современные высокотехнологичные установки невозможно приобрести в кратчайшие сроки.

В мире существует всего несколько производителей аппаратов ИВЛ и устройств ЭКМО - экстракорпоральной мембранной оксигенации, способных обогащать кровь кислородом. Сейчас эти компании стараются максимально повысить свою производственную мощность, но у них постоянно возникают сложности в поставках расходных материалов, например, дыхательных трубок и канюлей.

В общем и целом, инвазивная искусственная вентиляция лёгких при коронавирусе спасает огромное количество жизней. Даже трудно представить, какова бы была смертность, если бы в мире не существовало этой технологии. [\[6\]](#)

Заключение

В заключение хочется сказать, что наука о здоровье человека не стоит на месте, и вместе с тем развивается медицинское приборостроение. С каждым годом опытные инженеры придумывают новые технологии и реализуют их в медицинском оборудовании. Это также касается и аппаратов

ИВЛ. Начиная от идеи мешка Ашбу, заканчивая современными приборами, которые могут учитывать особенность каждого пациента.

Литература

1. Шатохина А. Дышит за человека. Как работает аппарат искусственной вентиляции лёгких? // АиФ. 18.04.2020 [Электрон. ресурс] https://aif.ru/society/healthcare/dyshit_za_cheloveka_kak_rabotaet_apparat_iskusstvennoy_ventilyacii_legkih (дата обращения 05.11.2020).
2. Лебединский К.М. История искусственной вентиляции лёгких. Учебно-консультационный центр аварийно-спасательных формирований им. В.В. Никулина [Электрон. ресурс] <https://uk-cert.ru/news/ivl-history/> (дата обращения 04.11.2020).
3. Искусственная вентиляция лёгких (ИВЛ): инвазивная и неинвазивная респираторная поддержка. Unimedica/ 14.05.2020 [Электрон. ресурс] <https://uni-medica.ru/info/blog/iskusstvennaya-ventilyatsiya-legkih/> (дата обращения 03.11.2020)
4. Цены на аппараты ИВЛ в Москве. [Электрон. ресурс] <https://moskva.tiu.ru/Apparaty-ivl.html> (дата обращения 05.11.2020)
5. Аппарат искусственной вентиляции лёгких. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электрон. ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Аппарат_искусственной_вентиляции_лёгких (дата обращения 30.10.2020)
6. Игнатова О. Знакомство с пришельцем. Какие первые выводы могут сделать медики о лечении COVID-19. // Российская газета – Неделя. № 131(8185) [Офиц. сайт] <https://rg.ru/2020/06/16/kakie-pervye-vyvody-mogut-sdelat-mediki-o-lechenii-covid-19.html> (дата обращения 04.11.2020)
7. Коронавирус и ИВЛ: как лечат самых тяжёлых пациентов. // БЕЛТА. 28.05.2020. [Электрон. ресурс] <https://www.belta.by/society/view/koronavirus-i-ivl-kak-lechat-samyh-tjazhelyh-patsientov-392619-2020/> (дата обращения 05.11.2020)
8. Реанимационный больной в условиях пандемии COVID-19. ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии Министерства здравоохранения РФ 23.05.2020 [Электрон. ресурс] <https://cardioweb.ru/news/item/2201-reanimatsionnyj-bolnoj-v-usloviyakh-pandemii-covid-19> (дата обращения 03.11.2020)

ПОЛЬЗА И ВРЕД ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИООБЪЕКТЫ

О.В. Кривова, А.М. Мхитарян, В.С. Шмелева

В современном мире каждому человеку угрожают различные опасности. Одни мы видим издалека, другие вообще не замечаем. На протяжении всей жизни люди подвержены электромагнитному воздействию, но даже не представляют, как сильно оно вредит здоровью. Чем же опасно электромагнитное воздействие? Как оно влияет на наш организм, и какие могут быть последствия? Ответы на эти вопросы можно найти в нашей статье.

1. Что такое электромагнитное излучение?

Электромагнитное излучение – это электромагнитные волны, возбуждаемые разными излучающими объектами, – заряженными частичками, атомами, молекулами, антеннами и многое другое. [1]

Чёткое описание электромагнитных волн и их распространения выделяют уравнения Максвелла. Впрочем, эти процессы можно разобрать без арифметики. Возьмем покоящийся электрон – практически точечный негативный электрический заряд. Вокруг себя он создает электростатическое поле, которое воздействует на иные заряды. На отрицательные заряды функционирует сила отталкивания, на положительные – сила притяжения, при этом все эти силы ориентированы строго по радиусам, идущим от нашего электрона. С расстоянием воздействие электрона на иные заряды слабеет, но ни разу не падает до нулевой отметки. По-другому говоря, во всем бесконечном пространстве вокруг себя электрон создает радиальное силовое поле (это правильно только для электрона, который всегда лежит в одной точке).

Предположим, некая сила (не станем уточнять ее природу) внезапно нарушила спокойствие электрона и принудила его двинуться несколько в сторону. Ныне силовые линии обязаны расходиться из нового центра, куда переместился электрон. Но электрическое поле, находящийся вокруг заряд, быстро перестроиться не имеет возможности. На довольно большом расстоянии силовые линии еще длительное время будут указывать на

первоначальное месторасположение заряда. Так будет до тех пор, пока не подойдет волна перестройки электрического поля, которая распространяется со скоростью света. Это и есть электромагнитная волна, а ее скорость есть базовое свойство пространства в нашей Вселенной. Естественно, это описание очень облегченно, а кое-что в нем элементарно не правильно, но оно помогает нам представить то, как распространяются электромагнитные волны. [2]

2. Виды электромагнитных излучений

В зависимости от длины волны, электромагнитное излучение возможно поделить на большое количество видов:

Видимый свет

Это то электромагнитное излучение, которое может воспринимать человеческий глаз. Длина световых волн в этом случае варьируется от 380 до 780 нанометров. Отсюда можно сделать вывод, что электромагнитные волны видимого света довольно короткие.

Инфракрасное излучение

Этот вид излучения располагается в электромагнитном спектре меж радиоволнами и световым излучением. Длина инфракрасных волн намного больше световых волн и находится в диапазоне от 780 нанометров до одного миллиметра.

Радиоволны

Сюда можно отнести микроволны, что излучает микроволновая печь. Это достаточно длинные электромагнитные волны. К ним относятся все виды излучения, длина волн которых начинается от 0,5 мм.

Ультрафиолетовое излучение

Этот вид электромагнитного излучения считается губительным для большинства живых созданий. Длина таких волн находится в диапазоне от 10 до 400 нм.

Рентгеновское излучение

Данный вид электромагнитного излучения отличается среди других наличием электронов. Оно содержит широкий диапазон волн – от 10^{-7} до

10^{-12} м. Данный вид излучения обширно применяется в медицинском оборудовании.

Гамма-излучение

Это самый коротковолновой вид электромагнитного излучения. Длина волны меньше 10^{-10} м. Гамма-лучи имеют очень большую энергию излучения. Данный вид – самый опасный вид электромагнитного излучения для человеческого организма. [1]

2. Чем опасны электромагнитные волны? Как избежать вредного воздействия?

Существует огромное количество излучений, и все они совершенно незаметны простому человеческому глазу. Тем не менее, это не значит, что этих излучений нет. Они есть в огромном количестве и каждый день оказывают влияние на наш организм. Электрический смог создают электромагнитные колебания низких частот, радиоволны и электромагнитное поле. Люди считают, что электромагнитное излучение не наносит никакого вреда организму, потому что оно никаким образом не ощущается. Но это является ошибочным суждением, потому что есть ряд примеров, подтверждающих обратное. Например, от источника ЭМИ можно почувствовать исходящее тепло. Электромагнитное излучение очень сильно влияет на нашу нервную систему, причем нервная система головного мозга страдает самой первой. Помимо этого под влиянием оказывается эндокринная система, заметно ухудшается память человека, проявляются различные болезни, старение.

Ученым удалось выяснить, что электромагнитные волны миллиметрового частотного диапазона полностью поглощаются кожей и действуют на ее рецепторы. В отличие от них сантиметровые волны поглощаются кожей не так сильно. Они проникают очень глубоко и воздействуют на структуру мозга, тканей и органов.

Из-за электромагнитного воздействия в организме человека начинается процесс токсемии, то есть начинает меняться внутренняя среда за счёт скопления всевозможных токсинов. Человек быстрее устает, возни-

кают головные боли и головокружения, рассеивается внимание и ухудшается память, снижается работоспособность. Список очень велик. Этот процесс приводит к разрушениям клеток и тканей, нарушению регуляции.

Каждый орган человека работает на своей частоте. К примеру, сердце – около 7 Гц, мозг в состоянии бодрствования – 50 Гц и так далее. Если рядом есть источник облучения, и он работает на такой же частоте, это может привести к увеличению или уменьшению нормальной частоты работы органа. К примеру, стенокардия может возникнуть при увеличении частоты работы сердца в 1,5 раза.

Если начать выяснять, то станет понятно, что количество систем, наиболее подверженных действию электромагнитного излучения, равно четырем. Давайте перечислим их. Это эндокринная, иммунную, нервная и половая системы. Область заболеваний велика - начинают возникать функциональные расстройства НС, развиваются опухоли. Совсем недавно была получена информация, что именно электросмог является главной причиной «синдрома хронической усталости». Впервые этот диагноз обнаружили в конце 80 годов XX века. В наше время количество человек с этим диагнозом равно миллиону, и цифры будут увеличиваться во всем мире.

Произведя исследования, ученые выяснили, что электромагнитные волны имеют высокую биологическую активность во всех частных диапазонах. Развитие отдаленных последствий дегенеративных процессов в центральной нервной системе, гормональных заболеваний происходит впоследствии биологического эффекта ЭМП. Люди совершенно разных возрастов подвержены этому облучению: дети, беременные, люди с нарушениями в различных системах организма. [2]

Влияние на нервную систему:

- 1) нарушение передачи нервных импульсов;
- 2) возникновение вегетативных дисфункций (неврастенический и астенический синдром), раздражительность, слабость, быстрая утомляемость, нарушение сна;

3) страдает высшая нервная деятельность (ослабление памяти, стрессовые реакции).

Влияние на сердечно - сосудистую систему:

- 1) лабильность пульса и артериального давления;
- 2) склонность к гипотонии, болями в области сердца;
- 3) снижение количества лейкоцитов и эритроцитов в крови.

Влияние на иммунную и эндокринную системы:

- 1) нарушается иммуногенез (в сторону угнетения);
- 2) отягощается течение инфекционного процесса;
- 3) угнетающее влияние на Т-систему клеточного иммунитета;
- 4) активизируется свертываемость крови, увеличивается выработка адреналина, снижается активность гипофиза.

Влияние на половую систему

Электромагнитные поля относятся к тератогенным факторам. Наиболее уязвимыми периодами являются ранние стадии развития зародыша. Наличие контакта женщины с электромагнитным излучением может привести к преждевременным родам, повлиять на развитие плода и увеличить риск врожденных уродств.

Как избежать электромагнитного воздействия?

Поскольку все мы подвержены электромагнитному излучению, очень важно соблюдать свод правил, которые помогут хотя бы немного обезопасить наше здоровье.

1. Нужно исключить длительное пребывание в местах с повышенным уровнем магнитного поля промышленной частоты;
2. Следует предусмотреть расположение мебели для отдыха, обеспечивающие расстояние 2-3 метра до электрораспределительных щитов, силовых кабелей, электроприборов.
3. Не пользоваться мобильным телефоном. При необходимости, стараться держать подальше от себя (убирать в карман рюкзака, а не брюк; держать как можно дальше от своего тела). [6]

Воздействие ЭМ полей может вызывать различные проблемы в организме:

- усталость;
- слабость;
- головокружения;
- головные боли;
- бессонницу;
- отсутствие концентрации внимания;
- депрессию;
- повышенную возбудимость;
- раздражительность;
- резкие перепады настроения;
- сильные скачки артериального давления;
- нарушения работы сердечной мышцы;
- ухудшение проводимости миокарда;
- аритмию;
- генную мутацию (за счет неё возрастает вероятность возникновения онкологических заболеваний);
- повреждения глаз (вызывают различные офтальмологические заболевания, в тяжелых случаях – потеря зрения);
- видоизменение сигналов (гормонами околощитовидных желез на мембранах клеток, торможение роста костного материала у детей). [5]

Польза электромагнитного воздействия.

Так или иначе, мы все попадаем под влияние радиоволн. Нельзя говорить о том, что электромагнитное воздействие несет в себе только негативный характер, так как человек находится в электромагнитном поле Земли, которое, наоборот, защищает все живое от солнечного излучения, а также определенное количество электромагнитных волн даже полезна и необходима для человека. [6]

Воздействие информационных электромагнитных излучений на биообъекты занимает важное место в ряду проблем, осваиваемых медициной и биофизикой. Как показали исследования, терапевтический эффект использования данного метода обусловлен нормализующим воздей-

ствием информационно-волновых сигналов, которые совпадают с индивидуальными информационными сигналами здоровых органов и систем пациента. [7]

Человек с давних пор использует электричество с целью лечения, и у него это весьма неплохо получается. С помощью электрического импульса происходит работа сердца, а также нервной системы. Благодаря импульсу мы можем делать ЭКГ и ЭЭГ и заранее узнавать о проблемах, связанных с работой сердца и мозга. [8]

Заключение

Электромагнитное излучение всех частот и диапазонов оказывает как благоприятное воздействие на организм человека при лечении самых разных заболеваний в медицине, так и вредное. Ученые многих стран доказали и зарегистрировали этот факт. Но не стоит забывать, что электромагнитные волны могут быть представлены широким спектром частот. Биологический эффект может быть совсем разным: как положительным, так и отрицательным. Что отчасти подтвердили последние исследования по определению физического механизма формирования и распространения электромагнитных излучений.

Литература

1. Электромагнитное излучение, теория Максвелла. Энциклопедия Кругосвет. Универсальная научно-популярная энциклопедия. [Электронный ресурс] https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ELEKTROMAGNITNOE_IZLUCHE_NIE.html (Дата обращения 06.10.2020).
2. Природа электромагнитных волн. Элементы [Электронный ресурс] <https://elementy.ru/posters/spectrum/nature> (Дата обращения 06.11.2020).
3. Ивахно А.А. Электромагнитное излучение. Справочник от Автор 24. [Электронный ресурс] https://spravochnick.ru/fizika/elektromagnitnoe_izluchenie/ (Дата обращения 06.10.2020)
4. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека и способы защиты от их вредного воздействия. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Нижегородской области [Официальный сайт] http://13.rospotrebnadzor.ru/center/services/zdorov_obraz/135871 (Дата обращения 13.10.2020)
5. Кукса А. Электромагнитное излучение: нужно ли его бояться? Роскачество. Портал для умного покупателя. [Официальный сайт] <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/>

- elektromagnitnoe-izluchenie-nuzhno-li-ego-boyatsya-vam-i-vashim-detyam/ (Дата обращения 13.10.2020)
6. Вред и польза электромагнитного излучения. Файловый архив для студентов. Stud-Files [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/8071188/page:3/> (Дата обращения 10.10.2020)
 7. Польза электромагнитного излучения. [Электронный ресурс] https://psv4.userapi.com/c856220/u257476318/docs/d18/0123857a990f/el-mag_Izl.pdf (Дата обращения 10.10.2020)
 8. Польза и вред электромагнитного излучения [Электронный ресурс] <https://pue8.ru/elektrotehnik/653-elektromagnitnoe-izluchenie-opredelenie-raznovidnosti-kharakteristiki.htm> (Дата обращения 14.10.2020)
 9. Виды электромагнитных излучений. Школа для электрика. [Электронный ресурс] <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/822-vidy-jelektromagnitnogo-izluchenija.html> (Дата обращения 07.10.2020)

ПРОТЕЗИРОВАНИЕ КОНЕЧНОСТЕЙ

Д.А. Гаевой, М.В. Сучкова, М.Д. Плац,
К.К. Котельников, Г.А. Скаржевская

Введение

Потеря конечностей по причине ампутации – серьезная проблема для человека, которая приводит к инвалидности и проблемам с психическим здоровьем. Современная ортопедия, восстановительная реконструктивная хирургия и протезирование стараются максимально восстановить функции конечности, скрыть визуальный дефект с помощью внедрения высокотехнологических протезов. [1]

Требования к современным протезам

1. Высокая прочность при легком весе опорных частей протеза. Этот параметр достигается благодаря использованию высокопрочных сплавов титана.
2. Плотное и надежное крепление протеза к культе конечности.
3. Возможность активных движений в протезе. Данный пункт означает повышение функциональности в его использовании.
4. Надежность и долговечность моделей. Перед введением в эксплуатацию протез обязан пройти строгое тестирование для выявления возможных дефектов и неисправностей.
5. Достаточное автономное питание активных функциональных и функционально-косметических протезов. Эту задачу решают мощные литий-полимерные аккумуляторы. Они небольшие по весу, но значительны по емкости.
6. Косметические функции. Модели биотонических протезов содержат синтетическое покрытие, которое напоминает кожу.
7. Связь протеза с ЦНС человека. Она достигается благодаря специальным датчикам в покрытии протеза. Это технологическое решение предоставляет человеку ощущения живой руки: ответная реакция «мышц» руки на давление, прикосновение или изменение температуры окружаю-

щей среды. Происходит обратная трансформация электронного сигнала в биопотенциал, который улавливают чувствительные нервные окончания культы конечности.

8. Предоставление возможности гарантийного и послегарантийного обслуживания протеза в специальных сервисных центрах. Компании-изготовители протезов, которые лидируют на рынке протезирования значительное время, имеют собственные сервисные центры почти во всех странах мира. [1]

1. История протезирования

Эволюция протезирования - это длительная история развития: от примитивных конструкций до сложных современных. Как и в развитии любой другой области, некоторые идеи и изобретения работали и успешно развивались, в то время как другие остались в давней истории и устарели. Длинный и извилистый путь к роботизированным протезам начался около 1500 г. до н.э. [2]

Первый функциональный протез большого пальца ноги, принадлежащей человеку дворянского происхождения, был найден в Египте. По данным ученых, он был создан в период 950-710 гг. до н.э. Протез состоял из двух деревянных частей, которые скреплялись кожаной нитью через отверстия, просверленные в древесине. Кожаный ремешок крепил палец к ноге с помощью кожаных нитей, как показано на рисунке 1. [2]

Сложно недооценить значение наших пальцев в жизни, но интересен тот факт, что первый реальный пример протезирования относится именно к ним, а не к тем частям тела или конечностям, которые могут казаться более важными – например, рукам или ногам. Ученые думают, что на создание такого протеза египтян вынудила значимость традиционных египетских сандалий в гардеробе знатной женщины, которые невозможно было носить, не имея большого пальца. [2]

В ходе раскопок в 1858 году в итальянском городе Капуя была найдена первая искусственная нога, которую сделали приблизительно в

300 г. до н.э. Она была сделана из бронзы и железа, с деревянным сердечником, которую, носили ниже колена.



Рисунок 1 – Первый протез пальца ноги

История протезирования имеет прямое отношение к войнам и жизням солдат. Примеры из Средневековья показывают, насколько медленно развивалась эта область – железные руки, показанные на рисунке 2, которые изготавливали для рыцарей, были не более продвинутыми, чем те, что использовал генерал Сергей тысячу лет назад. [2]

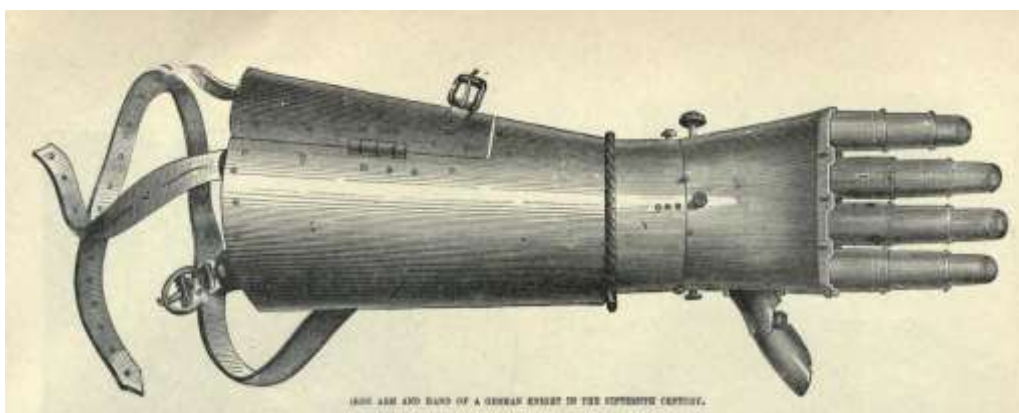


Рисунок 2 – Пример железного протеза руки

В 1508 году у немецкого наемника Гетца фон Берлихингена была пара технологически продвинутых железных рук, сделанных после того, как он потерял правую руку в битве при Ландсхуте. Ими можно было управлять с помощью пружин, подвешенных на кожаных ремешках.

Около 1512 года итальянский хирург, путешествуя по Азии, обратил внимание на человека с двусторонней ампутацией рук, который мог поставить свою подпись с помощью протеза.

Французский армейский цирюльник Амбруаз Паре является основателем современной хирургии ампутации и ортопедических конструкций. В 1529 году он ввел современные процедуры ампутации в медицинском сообществе, а в 1536 году сделал навесные протезы для верхних и нижних конечностей.

Он также улучшил искусственную ногу ниже колена, добавив к ней регулируемые ремни безопасности, управление блокировкой колена и другие технические особенности, которые используются в современных устройствах. Его работа продемонстрировала первое истинное понимание того, как должен работать протез. [2]

Во время гражданской войны в США количество ампутаций росло всё быстрее, что заставляло американцев усиленно развиваться в протезировании. Джеймс Хангер, один из первых ампутантов гражданской войны, разработал Hanger Limb – протез, сделанный из бочарных клепок и металла, имеющий шарнирные суставы в области колена и лодыжки, показанный на рисунке 3.

Hanger Limb оказалась на тот момент новой технологией в истории протезирования, и основанная Хангером компания продолжает оставаться лидером в этой области.

После Второй мировой войны ветераны были недовольны и требовали улучшения протезов. Тогда правительство США заключило сделку с военными компаниями для улучшения протезов, а не оружия. Это соглашение открыло путь к разработке и производству современных протезов. [2]

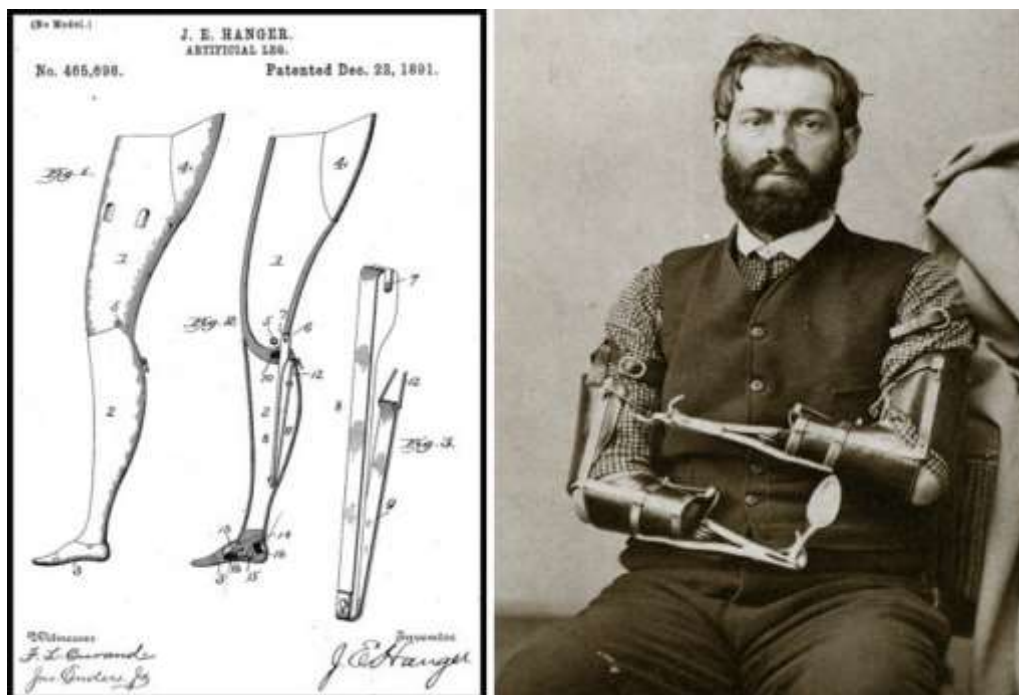


Рисунок 3 – Джеймс Хангер, разработавший шарнирный протез конечности в области колена и лодыжки

В 1970-х годах изобретатель Исидро М. Мартинес оказал огромное влияние на индустрию протезирования, когда разработал протез нижней конечности, показанной на рисунке 4, который был ориентирован на улучшение походки и уменьшение трения. Снижая давление и делая ходьбу более комфортной, Мартинес, который сам был инвалидом, улучшил жизнь многих будущих пациентов.

Наиболее важное различие между современными искусственными конечностями и теми, которые были сделаны в прошлом, находится на границе между протезом и той частью тела, где он будет крепиться. В прошлом система подвески для протезов конечностей была сделана из кожаных или тканых ремней, а паз был деревянным или металлическим, обшитым тканью. Большинство современных протезов сочетают в себе гнездо, сделанное из пластика, и присоски. Они тщательно утепляются и предотвращают повреждение той части конечности, к которой крепится. Современные разъемы также облегчают надевание и снятие протеза.

В дополнение к более легким устройствам появление микропроцессоров, компьютерных чипов и робототехники в современных приборах

предназначено для возвращения пациентов к жизни, не исключает и более привлекательный вид. Современные протезы способны имитировать функцию утраченной конечности точнее, чем раньше.



Рисунок 4 – Пример нижней конечности, разработанной Исидро М. Мартинесом

Одна компания в Сколково, называемая Моторикой, занимается разработкой протезов для детей. Они делают высокотехнологичные протезы, в виде рук супергероев, оснащенных такими гаджетами, как лазерная указка, GPS-трекер, Bluetooth и многое другое. На эту идею их натолкнула та мысль, что дети-инвалиды очень стесняются носить протезы телесного цвета, так как они не очень похожи на настоящие. Поэтому команда запатентовала на рынке свои протезы, получила все медицинские рекомендации, и теперь дети получают их бесплатно и гордятся тем, что у них есть то, чего нет у других.

2. Виды протезов

Косметические протезы

Наиболее востребуемой сферой для косметических протезов является челюсть и руки.

Классические косметические протезы руки состоят из культеприёмника, каркаса кисти, косметической перчатки. Для удовлетворения эстетических и функциональных потребностей пациентов в настоящее время существуют такие протезы верхних конечностей, также состоящие из этих же частей, но помимо этого, имеющие специальный корпус с механическим узлом. От этой конструкции зависит функция захвата. Таким образом, они воссоздают и естественный вид верхней конечности, и имеют достаточно широкие функциональные возможности. [3]

На российском рынке средств реабилитации в центре внимания находится продукция производства Реутовского экспериментального завода протезирования конечностей. По большей части это косметические протезы кисти из силикона высокой прочности. Модели Реутовского завода находятся на одном уровне с протезами известных мировых производителей.

Подвижные (бионические) протезы

Раньше протезы прикреплялись к человеческому телу механически и не имели никакой связи с нервной системой. Они могли сгибаться в своих железных шарнирах-суставах, но для каждого движения человеку нужно было как-то регулировать поведение своего протеза. Таким образом человек сигнализировал своей ногой, что впереди препятствие и его нужно избежать, а руке – что нужно аккуратно взять предмет и приготовить из него какое-то блюдо или, наоборот, крепко зажать в руке инструмент. Чтобы научить человека управлять новой конечностью таким образом, требовалось долгое время, да и набор команд был довольно ограниченным, поэтому мелкая моторика была недоразвита.

Но ученые, вдохновленные воображением писателей-фантастов, смогли сделать невероятный прорыв – присоединить механическую руку к человеческой нервной системе, как на рисунке 5. [4]

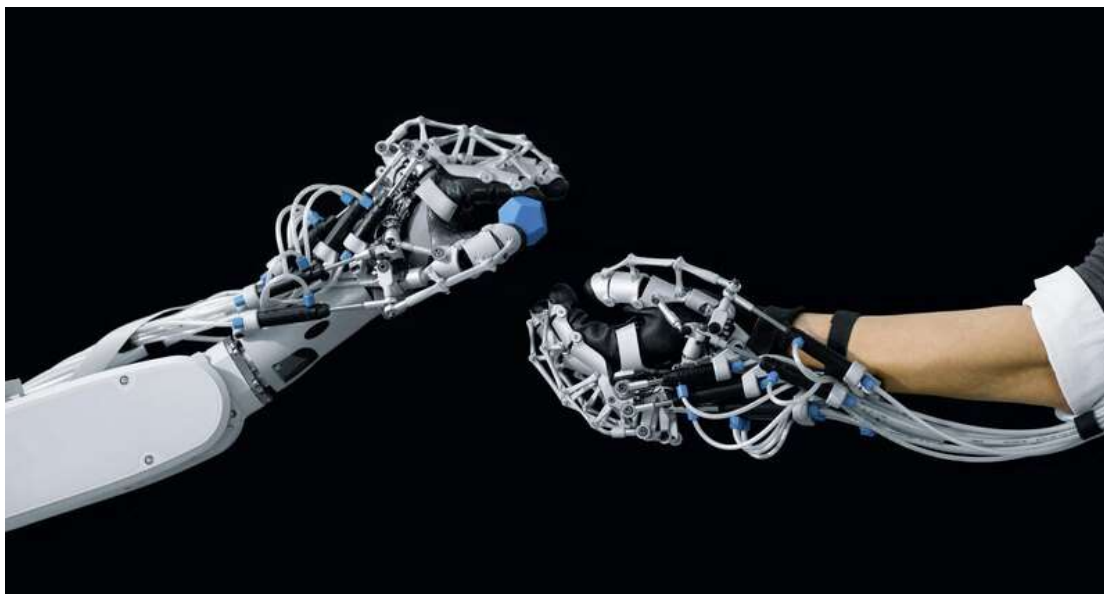


Рисунок 5 – Пример присоединение механического протеза к ручке человека

Когда у человека возникает желание пошевелить пальцами, мозг создает импульс, который движется по нервным окончаниям до нужных мышц. Но, так как рука отсутствует, сигнал уходит безвозвратно. Но что, если где-то по пути «перехватить» нервные импульсы и на этой основе после анализа и обработки данных сформировать команды управления роботизированной рукой? Именно в этом направлении развиваются ведущие компании протезирования, стремясь создать аппараты, которые будут считывать нервные импульсы и переводить их в движение.

В американских Хьюстонском университете и Университете Райса велись эксперименты со снятием моторных нервных сигналов методом электроэнцефалографии (ЭЭГ) с помощью электродов на коже головы. Сложность в том, что ЭЭГ – это набор большого количества разных сигналов, и задача выбрать из них те, которые управляют движением конечности (как найти иголку в стоге сена). [4]

Исследователи из Технического университета Чалмерса в Гетеборге (Швеция) совместно с коллегами из консорциума NEBIAS (проект нескольких европейских университетов) пошли другим путем. Вместо того, чтобы располагать электроды на поверхности кожи, где полезный сигнал сильно зашумлен, ученые попытались уменьшить влияние помех, вшивая электроды под кожу. Но физиология каждого человека индивидуальна,

и нельзя перед этим всем сказать, где именно следует расположить электроды для максимального соотношения «сигнал-шум».

Самообучение роботов

На данный момент самым прогрессивным способом управления бионическими протезами считается считывание электрических потенциалов с мышц культи — электромиография (ЭМГ). Такие высокотехнологические протезы уже вышли за пределы лабораторий и производятся несколькими партиями. Однако научить пациента правильно управлять протезом — все еще сложная задача, которую учёные пытаются решить.

В лаборатории прикладных кибернетических систем Московского физико-технического института пытаются оптимизировать эту задачу, то есть «обучить» протез правильно понимать команды человеческого мозга. Команда GalvaniBionix, состоящая из студентов и аспирантов МФТИ во главе с заведующим лабораторией Тимуром Бергалиевым использует для считывания электрических потенциалов с мышц не одну пару электродов, а множество. Такой подход позволяет добиться значительного повышения уровня полезного сигнала и способствует прогрессу самообучения. Каждая комбинация сигналов, пришедшая с разных электродов, соответствует определенному действию руки, а задача состоит в том, чтобы составить библиотеку соответствий, к которой будет обращаться система при получении нового набора импульсов. [4]

3. Протезирование ног

Протезы ступней

Не удивительно, но самой сложной частью конечности для инженеров для воссоздания является ступня, продемонстрированная на рисунке 6. В основе современного протезирования ступней лежит сложная гидравлика, повторяющая основные положения, которые принимает стопа при ходьбе, стоянии, поворотах и даже танцевальных движениях. [5]

Относительно недавно студентом Мичиганского Университета был представлен протез ступни, экономящий энергию при ходьбе, как на рисунке 7. Этот протез отличается от других тем, что он более легкий и ком-

фортный в использовании, а также он не имеет внешнего источника питания.



Рисунок 6 – Пример протеза ступни



Рисунок 7 – Протез, разработанный студентами Мичиганского университета

А первым в мире умным протезом ступни появившимся в продаже стал Proprio Foot. Он способен "думать и действовать сам". Этот протез может на промежутке 15 шагов определить особенности походки и нагрузку его владельца, максимально точно запомнить стиль ходьбы хо-

зияна и в дальнейшем подстраиваться под него. Его разработчики не делали упор на датчики, которые считывают сигналы мозга, а сконструировали компьютер, который отслеживает движение тела и способен предугадывать дальнейшие движения. [5]

Коленный модуль

Это изобретение относится к биотехническим системам и предназначен для протезирования нижних конечностей. Коленный модуль состоит из коленного соединения и тормозного узла. Коленное соединение состоит из верхней, средней и нижней частей, оси качания, шарнирной оси, которая жестко связана с одной из частей коленного соединения. Ось качания расположена параллельно относительно шарнирной оси. В составе тормозного узла выполнена вытеснительная камера, которая находится в средней части коленного соединения и которая разделена шарнирной осью коленного соединения. Шарнирная ось изготовлена в виде неподвижного гидропоршня. Середина коленчатого сочленения с вытеснительной камерой осуществлена с возможностью совершения поворотного течения сравнительно задиристой оси, обуславливающего модифицирование размера полостей сгибания и разгибания. Верхняя часть сочленения со стороны разгибания определена для оси качания с возможностью качания и осуществлена обхватывающей посредственную делянку коленчатого сочленения в направлении сгибания, притом вчуже сгибания - обхватывающей, контактирующей и приводящей в действие посредством создания нажимающего действия электротормозной механизм, реализованный в типичнее доли коленчатого сочленения, и также объединена со стороны сгибания с пневмомеханическим узлом. В гидропоршне, который исполняет функцию шарнирной оси, выработан канал, сколачивающий полости вытеснительной камеры, в которой определен механизм регулировки торможением и объединен с каналом, соединяющим полости сгибания и разгибания вытеснительной камеры. Технологическим итогом изобретения представляется продвижение адаптивности к управлению фазой маха. [6]

4. Протезирование рук

Протезы кистей

Протезы кистей созданы для пациентов с культями верхних конечностей на уровне кисти после выполнения одно- либо двусторонней ампутации. Такие протезы могут быть как косметическими, так и рабочими.

В последнее время много сил уходит на разработку функциональных протезов, и в этой области достигнут заметный прогресс. Первая фирма, создавшая вклад в прогресс - Touch Bionics. Она показала полностью съёмные роботизированные протезы кистей и отдельных пальцев. Такие биомеханические протезные системы ProDigits и i-LIMB имеют взаимозаменяемые узлы и фаланги пальцев. Настраиваются с помощью Bluetooth.

Затем британская компания BeBionic создала бионическую кисть – самый функциональный протез кисти на сегодняшний день в мире. В основе этой разработки лежит использование миоэлектрической системы управления, которая дополнена возможностью тонкой донастройки устройства пользователем. [7]

То есть, человек может установить силу хвата собственноручно, а также настроить реакцию протеза на различные предметы, скорость реагирования и множество других параметров. Эта информация передается по беспроводному каналу в электронную кисть. Мио электрическая система при получении импульса на сохранном участке мышц конечности позволяет носителю легко использовать бионическую кисть как свою родную руку. Если говорить иначе, такой протез управляется с помощью изменения сигналов, которые появляются при сокращении мышц руки, и человек может самостоятельно изменять параметры кибернетического протеза.

Сенсоры могут считывать сигналы мозга или получать импульсы с мышц. Иногда в системе могут появиться проблемы при получении сигнала из-за внешних помех и шума. Поэтому датчики устанавливаются под кожу головы или руки, которая повреждена (рисунок 8). [8]

Блок-схема управления протезом со встроенной системой биоэлектрического управления

1-пара электродов токоотводящего устройства

2-усилитель напряжения

3-активный детектор

4-усилитель мощности

5-выходное реле

6-электродвигатель

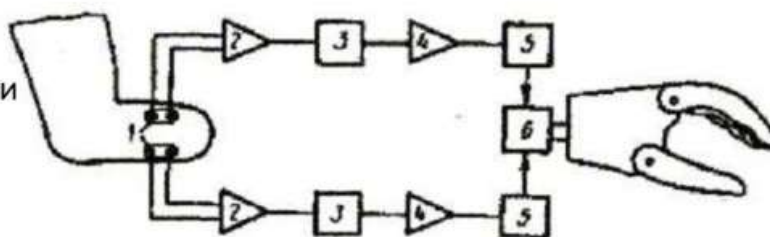


Рисунок 8 – Блок-схема управления протезом

В зависимости от функциональности конструкции подразделяются на:

1. Устройства с активным движением. Подобные протезы помогают удерживать тяжелые предметы, а также выполнять и другую сложную физическую работу. Обычно, эти протезы скрывают под одеждой.

2. Протезы, обладающие не только двигательной, но и тактильной функцией. Они покрыты материалом, напоминающим естественную кожу.

5. Технологии приводов протезов

На сегодняшний день люди с ампутированными конечностями имеют большой выбор различных протезов. Сейчас в этой сфере происходит буря новых достижений и прототипов. Основная цель ученых и инженеров всего мира в сфере протезирования – воплотить в искусственном аппарате все функции живой руки или ноги.

Все бионические конструкции разных компаний в данный момент не сильно схожи со своими прототипами. Кроме других проблем, основной недостаток всех разработок – это, похожая на естественную, кожа для наружного покрытия. Вполне вероятно, что в ближайшее время эта проблема будет устранена с помощью изготовления полноценной искус-

ственной кожи, ибо в настоящее время уже проводятся опыты по соединению нервной ткани с электронным устройством.

Почти до окончания 20-го века протезы были механическими, иногда их приходилось регулировать вручную. Основными проблемами протезов тех времен были отсутствие соединения организмом и короткий срок службы. Протезы, заменявшие руку или ногу, не могли работать, как полноценный их прототип. Все, что остается делать обладателю такого протеза, это использовать его как часть гардероба.

6. Способы управления протезами

Во время операции хирург, удаляя конечность полностью или частично, находит целый фрагмент двигательного нерва и выводит его на мышцу, которая сохранила свой функционал. Благодаря этому после заживления не происходит нарушения передачи импульсов от головного мозга к конечности, даже при отсутствии самой конечности. Бионические протезы работают при помощи программы, которая может считывать импульс, обрабатывать информацию и преобразовывать ее в движение.

Как действует импульс от мозга к протезу

Большая часть движений человека выполняется автоматически. Особенно те, которые повторяются очень часто и хранятся в мышечной памяти: чистка зубов, умывание, подъем и другие. В действительности все выглядит так: мысль – первоисточник действия. [9]

В момент формулировки команды мозг создает импульс, а затем, используя нейроны, направляет информацию в мышцы, которые необходимо использовать для реализации процесса. Человек не успевает проследить всю последовательную цепочку таких действий, потому что они происходят мгновенно.

Первым сигнал о нужном действии получает электрод, взаимодействующий с выведенным на мышцу нервом. После чего полученная информация анализируется процессором, встроенном в устройство. [9]

Заключение. Будущее протезов***Разработка протезов будущего с возможностью чувствовать***

Главной целью разработок ученых является функциональное объединение протеза с организмом (главным образом, с головным мозгом человека). Для этого было принято использовать принцип обратной связи.

Биотонический протез состоит из покрытия, копирующего кожу человека. Данное покрытие имеет специальные датчики, которые способны реагировать на изменения окружающей среды – температуру, давление и прикосновения. От них в обратном порядке через особый микропроцессор передается сигнал на кожу культи, затем непосредственно в чувствительные нервные окончания. Это способно дать человеку ощущение собственной конечности, однако чувствовать ее она будет занемевшей. [10]

Роботроника – протезы будущего

Роботроника – это отрасль в разработке протезов, которая стремится к созданию полностью управляемых головным мозгом человека протезов. В ходе разработки подобных протезов, количество датчиков движения и чувствительности увеличивается, что способно обеспечить максимальное функциональное единство с организмом человека. Большое количество датчиков с миниатюрными электродвигателями и гидравлическими тягами в протезе кисти позволяют человеку выполнять тонкую работу с большим количеством манипуляций. Носитель такого протеза может держать ложку, есть, писать и выполнять другие виды работы самостоятельно. Датчики давления и прикосновения помогают человеку регулировать усилия при выполнении манипуляций протезом кисти. [10]

Роботроника и остеосинтез – киберпротезы

Остеосинтез – это отрасль работы над протезированием, целью которой является объединение протеза и организма человека в одно целое. Достижение этого планируется с помощью имплантации несущей опорной части протеза из высококачественного титанового сплава с костной основой культи. Для того, чтобы повысить уровень регистрации биопотенциалов, датчики будут вживлены в двигательные и чувствительные нервные окончания нерва, который иннервировал конечность до ее ампутации. Та-

кой подход предоставляет возможность максимально точно чувствовать протез, как собственную конечность, выполняя аккуратные целенаправленные движения в нем. Несколько крупных производителей уже анонсировали ускорение производства таких киберпротезов в недалеком будущем. [10]

Остеосинтез протеза способен дать человеку ощущение присутствия конечности, потому что он будет чувствовать её полностью, а снимать и надевать протез не придётся. Протезы будущего позволят жить человеку после ампутации полноценной и комфортной жизнью.

Литература

1. Требования к современным протезам. [Электрон. ресурс] <https://xn---7sbflcbakjcpj9aebddhddve0bgs0k.xn--p1ai> (дата обращения 06.10.2020).
2. Яковлева Е. История протезирования конечностей. Ютека. Блог. 10.07.2019. [Электронный ресурс] <https://uteka.ru/articles/fakty/istoriya-protezirovaniya-konechnostey/> (Дата обращения 06.10.2020.)
3. Косметические (пассивные) протезы верхних конечностей. Протезирование конечностей при ампутации. SURGERY. ON RUSSIAN MEDICAL SERVER. [Офиц. сайт] <http://www.rusmedserv.com/prostheticsextremities/cosmetic-prostheses-upper-extremities/> (дата обращения 06.10.2020).
4. Степаненко Д. Как работают бионические протезы // Популярная механика. 07.04.2016 [Электрон. ресурс] <https://www.popmech.ru/science/235633-kak-rabotayut-bionicheskie-protezy/> (дата обращения 14.10.2020).
5. Современные технологии протезирования: как ИТ помогает людям жить. ИТС.UA. 25.08.2010 [Офиц. сайт] <https://itc.ua/articles/covremennye-tehnologii-protezirovaniya-kak-it-pomogaet-lyudyam-zhit-48171/> (дата обращения 07.10.2020).
6. Журавлев В.П., Мокринский С.Г., Сахнюк И.В., Сахнюк И.И. Модуль коленный. Патент RU 2380061. FindPatent.ru [Электронный ресурс] <https://findpatent.ru/patent/238/2380061.html> (дата обращения 12.10.2020).
7. Протезы кистей – бионическая кисть. SURGERY. ON RUSSIAN MEDICAL SERVER. [Офиц. сайт] // <http://www.rusmedserv.com/prostheticsextremities/prostheses-hands-bionic-hand/> (дата обращения 07.10.2020).
8. Бионический протез руки. [Электрон. ресурс] <https://healthperfect.ru/bionicheskiy-protezh-ruki.html> (дата обращения 10.10.2020).
9. Паллиативная медицина. Как работает бионический протез? Respimed. Все про респираторные заболевания. ООО «Медика Трейд». [Офиц. сайт] <https://respimed.ru/palliativnaya-medice/kak-rabotaet-bionicheskiy-protezh.html> (дата обращения 08.10.2020).
10. Роботроника, остеосинтез, протезирование будущего. MEDNAVIGATOR.ru. Поиск и подбор лечения в России и за рубежом. [Электрон. ресурс] <http://протезирование-конечностей.рф/протезы-конечностей-будущего/> (дата обращения 06.10.2020).

«ГАММА-НОЖ» И «КИБЕР-НОЖ»

А.Ю. Акопова, А.Д. Бондарева, М.Ф. Хохлова, С.М. Шагиева

Данная статья посвящена важности радиохирургического способа лечения, который широко используется в наше время. Мы рассматриваем такие приборы как «Гамма-нож» и «Кибер-нож». Их использование необходимо для улучшения качества работы в сфере онкологии. В данной работе мы рассматриваем историю создания, принцип работы радиохирургии и лучевых терапий, а также описываем рабочий процесс, основные составляющие и области применения ранее упомянутых систем. Изучив нашу работу, вы сможете узнать о преимуществах этого способа лечения и о перспективах развития подобных установок в медицине.

Введение

Радиохирургические методы лечения приобретают все большее значение в лечении онкологических заболеваний. В некоторых ситуациях, где невозможно хирургическое вмешательство, они стали единственно возможным решением в лечении опухолей, в лечении метастазов рака в головном мозгу - они стали стандартом. Помимо этого, они используются, как дополнение к хирургическому методу лечения. И, наконец, они являются альтернативой в лечении многих опухолей и сосудистых заболеваний головного и спинного мозга, а также позвоночника, избавляя пациента от многих осложнений открытого хирургического вмешательства.

1. Историческая справка

«Гамма-нож» и «Кибер-нож» являются уникальными установками для радиохирургического лечения различных церебральных и спинальных заболеваний.

В конце 80-х гг. прошлого века американские нейрохирурги впервые стали применять технологию GammaKnife, которая была создана только для терапии головного мозга.

Система CyberKnife, которая появилась позже, используется в клинической практике с 2001 г. В отличии от системы Гамма-нож, полем лечеб-

ного воздействия данной разработки может быть выбран совершенно любой внутренний орган или система, в том числе и головной мозг.

В 1948 г. нейрохирург из Швеции разработал оригинальную стереотаксическую раму, с дугой, которая позволяла достичь выбранной интракраниальной мишени с любого направления. В 1951 г. Ларс Лекселл предложил объединить раму с рентгеновской трубкой (источником излучения). Данный подход был назван радиохирургией. В последующие года совместно совместно с физиком из Института Густава Вернера Ларс Лекселл проводит эксперименты по применению протонов в стереотаксической радиохирургии, которые имеют успех. Таким образом был создан новый проект, поддерживаемый шведскими физиками из Лунда, Уппсалы и Стокгольма, в рамках которого был разработан, изготовлен и запущен первый прототип «Гамма-ножа». Он воплотил основные принципы, которые используются и в современных устройствах: большое количество источников и фиксированный изоцентр.

Первый «Гамма-нож», который был инсталлирован в 1967 г. в Софияхэммет, свыше 10 лет использовался нейрохирургами Каролинского института под руководством Ларса Лекселла, в 1974 г. в этом же институте был установлен 2-й «Гамма-нож». В начале 1980-х гг. «Гамма-ножи» были установлены в Буэнос-Айресе (1983 г.) и Шеффилде (1985 г.), на рынке появилась фирма Elekta.

Благодаря усилиям нейрохирурга Дэйда Лансфорда, в 1987 г. в университете Питтсбурга, а в 1988 г. – в Виргинском университете устанавливаются первые стандартные модели «Гамма-ножа» Leksell GammaKnife U. Эта установка получает широкое распространение в США, а затем появляется усовершенствованная модель Leksell GammaKnife B в Норвегии и Бергене. На рисунке 1 представлено фото Ларса Лекселла – шведского нейрохирурга, одного из разработчиков «Гамма-ножа».

Новая модель C, которая была выпущена в 1999 г., включает в себя автоматическую систему позиционирования пациента. Модель 2007 г. Perfexion становится революционной и практически полностью автоматизирует процесс лечения. В эту разработку включают также оригинальную

систему для гипофракционированного лечения на основе вакуумной подушки и индивидуальной капы. Однако, эта модель не получила широкого распространения. В 2016 г. была представлена более совершенная модель Icon с возможностью проведения гипофракционирования. Она представляла собой дополненную модель Perfexion, оснащенную красноточевым томографом, системой слежения за смещением пациента и системой воспроизводимой фиксации [1].

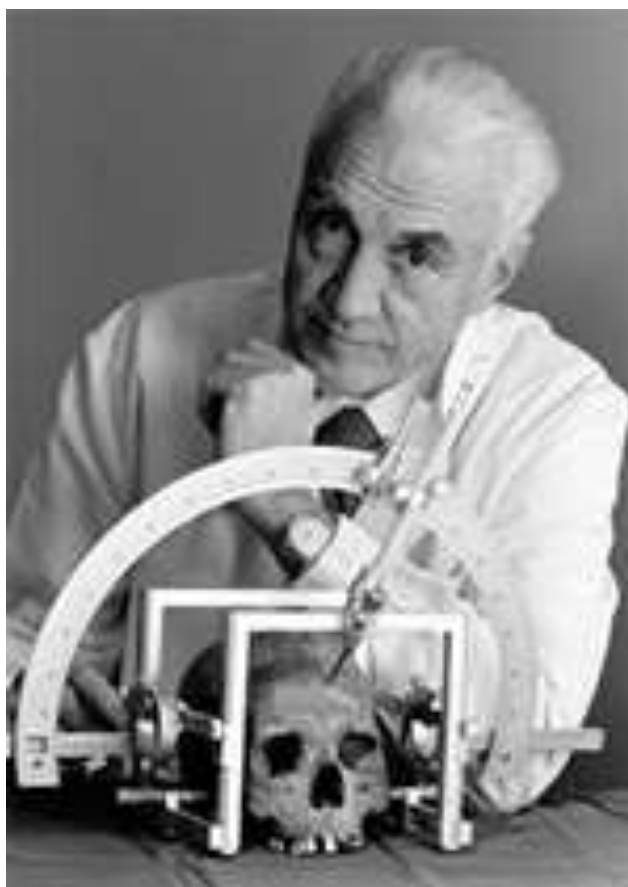


Рисунок 1 – Л. Лекселл – шведский нейрохирург, основатель радиохирургии, один из разработчиков «Гамма-ножа»

В современном мире работает около 300 установок «Гамма-нож», а количество прооперированных больных по данным 2018 г. составляет 1 213 617.

На территории Российской Федерации первый «Гамма-нож» был установлен в 2005 г. в НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. В 2018 г. там же была установлена самая современная модель - Leksell GammaKnifeIcon.

Установки Leksell GammaKnife Perfexion используются в Онкологической клинике Медицинского института Березина Сергея (МИБС), в 2019 г. в Новосибирске была запущена работа на LGK Icon. LGK Perfexion используются в ОКБ Ханты-Мансийска, НИИ СП им. Н.В. Склифовского, РНЦ РХТ им. А.М. Гранова, Москве, Санкт-Петербурге и Обнинске [2].

Технология Кибер-нож разработала в 1992 году группа врачей, физиков и инженеров Стендфордского Университета США (Джон Адлер) с целью преодоления существующих недостатков уже имеющихся систем радиохирургии. Для этого в технологии Кибер-нож была воплощена система по контролю изображения и роботизированная «рука» с новым уровнем маневренности, которые стали революционными нововведениями. В августе 1999 г. FDA одобрило эту методику для лечения опухолей головы и шеи, а в августе 2001 г. для опухолей любой локализации [3].

2. Стереотаксическая радиохирургия и фракционная стереотаксическая лучевая терапия

Данные методики радиотерапии применяют самые передовые технологии, которые позволяют с максимальной точностью сфокусировать в строго ограниченной области высокую дозу облучения.

Применение

Стереотаксическое облучение применяется для лечения опухолей, которые находятся в труднодоступных для удаления местах таких, как область головного мозга, голова, шея, при злокачественных новообразованиях внутренних органов таких, как печень, поджелудочная железа, легкие, предстательная железа и позвоночник. Однократное применение данного метода называется стереотаксическая радиохирургия. Курс лечения, состоящий из нескольких процедур облучения-фракционной стереотаксической радиотерапией.

Принцип работы

Механизм действия данных методик не отличается от других типов облучения. Ионизирующее облучение не удаляет опухоль, а способствует необратимому повреждению молекул ДНК и нарушению структуры злока-

чественных клеток, это приводит к их гибели или лишает возможности деления. После того, как при помощи томографической визуализации определяется точное месторасположение опухоли, направляются лучи из множества точек под разным углом, так, аппарат стереотаксического облучения воздействуют на опухоль. Незначительная мощность отдельно взятого луча не приводит к повреждению здоровой ткани, однако высокая концентрация энергии в области фокусировки, а именно непосредственно в злокачественном новообразовании, способствует разрушению раковых клеток. Терапевтический эффект при первичных или метастатических процессах наступает в течение нескольких месяцев. Методика стереотаксической радиотерапии особо эффективна при небольших новообразованиях до 3,5 см в диаметре.

Преимуществами метода являются: отсутствие хирургического этапа и соответствующих осложнений, безболезненность процедуры, высокая прецизионность облучения, относительно низкая лучевая нагрузка на окружающие здоровые структуры и одномоментность лечения. Метод стереотаксической радиохирургии был разработан шведскими учеными во главе с L. Leksell во второй половине XX в. они сформулировали основные принципы радиохирургии и дали ей определение как подведение значительной дозы ионизирующего излучения к относительно небольшому объёму мишени за один сеанс без трепанации черепа с применением стереотаксической техники, Если подведение дозы осуществляется в несколько сеансов, то речь идёт стереотаксической радиотерапии [4].

Виды лучевой терапии

3D-конформная лучевая терапия (3D-CRT) - это метод облучения, технология которого основана на объемном планировании. То есть форма облучаемого объема максимально приближена к форме опухоли. Процедура выполняется с использованием современных линейных ускорителей, оснащенных многолепестковым коллиматором. Лепестки, выстраиваясь в форме опухоли, ограничивают облучение здоровых тканей. Процедура в среднем занимает около 10 минут. 3D-конформная лучевая терапия явля-

ется безопасным методом лучевой терапии и применяется для фракционного облучения больших мишеней.

Модулированная по интенсивности лучевая терапия (IMRT) - это технология дистанционного облучения, которая при подведении радикальных доз ионизирующего излучения позволяет снизить нагрузку на здоровые органы и ткани. При использовании методики модулированной по интенсивности лучевой терапии создается радиационное поле требуемой формы (соответствующее опухоли), а также существует возможность облучать отдельные объемы опухоли разной интенсивностью во время одного сеанса.

Ротационное объемно-модулированное облучение (VMAT) – это методика лучевой терапии, при которой облучение может проводиться под любыми возможными углами, в диапазоне 360 градусов. Распределение дозы облучения при ротационном объемно-модулированном облучении максимально соответствует форме опухоли, благодаря чему эффективность воздействия на опухоль повышается, а нагрузка на здоровые органы и ткани вокруг нее - снижается. Во время процедуры, при планировании которой использовалась методика VMAT, лепестки коллиматора непрерывно движутся, изменяя размеры и форму поля облучения, варьируя интенсивность дозы. Возможность максимально сократить время процедуры - это преимущество данного метода лучевой терапии.

Лучевая терапия с использованием системы активного контроля дыхания (ABC) - вид лучевого лечения, используемый для облучения опухолей органов, подвижных при дыхании (легкие, печень, поджелудочная железа и др.). При свободном дыхании, сдвиг очага опухоли очага может достигать двух сантиметров. В таком случае, в поле облучения необходимо включать всю область, в которой может оказаться мишень во время процедуры. Таким образом, облучению подвергается объем клеток, многократно превышающий первоначальную опухоль. Сдвиг опухоли во время дыхания может быть уменьшен посредством использования системы ABC (Active Breathing Coordinator). Во время процедуры дыхание осуществляется через трубку с бактериальным фильтром, а нос пациента зажат. После

прохождения через турбинный спирометр запрограммированного объема воздуха, клапан перекрывает дыхательную трубку, помогая пациенту задерживать дыхание на одном и том же уровне. Во время процедуры пациент контролирует работу системы с помощью специального пульта. Время процедуры с использованием АВС немного увеличивается и занимает, в среднем, 30-40 минут, но при этом позволяет избежать переоблучения здоровых тканей [5].

3. «Гамма-Нож»

Современный «Гамма-Нож» - это высокотехнологичное компьютеризированное устройство, в котором используются самые новые достижения медицинской радиологии, нейрохирургии и робототехники.

Лечение и принцип работы

В определенный день пациенту устанавливают на голову стереотаксическую рамку. Для того, чтобы точно и безболезненно зафиксировать проводят анестезию. Но такое крепление не ограничивает действия пациента.

Затем устанавливаются точные координаты опухоли. Для этого используют специальные томографы: высокополный магнитно-резонансный и мультиспиральный компьютерный. Гамма-лучи, испускаемые аппаратом, фокусируются на патологической точке, фиксируя ее расположение. При этом погрешность составляет не более одного миллиметра.

На основании полученных данных разрабатывается компьютерный план предстоящего лечения. В его разработке участвуют медицинский физик, врач-нейрохирург и при необходимости радиационный онколог.

Дальше вступает в действие непосредственно сам гамма-нож. Лечение около часа. Под действием высокой дозы облучения происходит разрушение ДНК опухолевых клеток, которые теряют способность к делению и постепенно погибают. Некоторые опухоли полностью «рассасываются» и исчезают, некоторые остаются в прежних размерах, либо уменьшаются и больше никогда не растут. В сложных случаях длительность сеанса может

быть больше. В процессе лечения больной находится в сознании и не ощущает никаких неудобств. Звучит тихая, приятная музыка. Врачи наблюдают за состоянием больного с помощью специальных видеокамер. Возможны перерывы для отдыха во время процедуры.

После окончания лучевой процедуры с головы пациента удаляют рамку и накладывают повязку. Больной может в тот же день поехать домой [6].

Основные составляющие системы

Система «Гамма-нож» состоит из автоматической системы позиционирования, источников на основе кобальта-60, которые вырабатывают пучки лучей, поддерживающего шлема, сферического коллиматорного шлема, стереотаксической рамы Лекселла, защитного кожуха и регулируемой кушетки. На рисунке 2 представлена установка «Гамма-ножа». На рисунке 3 представлена схема «Гамма-ножа».



Рисунок 2 – Установка «Гамма-ножа»

Область применения

Основными показаниями к радиохирургическому лечению на аппарате Гамма-Нож являются доброкачественные и злокачественные опухоли, расположенные в полости черепа, метастазы в головной мозг, сосуди-

стые мальформации, невралгия тройничного нерва, меланома сосудистой оболочки глаза и другие заболевания.



Рисунок 3 – Схема «Гамма-ножа»

Преимущества системы «Гамма-нож»

Такая система позволяет лечить опухоли мозга, которые нельзя оперировать. Эти опухоли представляют из себя метастазы первичного онкологического процесса.

Возможно удаление очагов, расположенных в глубинных, труднодоступных слоях головного мозга, а также в опасных зонах, когда невозможно применить обычную операцию или это рискованно для жизни пациента.

При лечении существует минимальная вероятность развития осложнений, так как не нужно делать трепанацию и «орудовать» острыми инструментами в мозге. Осложнения возникают в 10 раз реже, чем после стандартных операций.

Огромным преимуществом является безболезненность процедуры. Проводится лишь местная анестезия в участках, где крепится рамка, и общий наркоз не нужен. Во время лечения человек в сознании.

Для достижения необходимого эффекта достаточно одного (максимум 2) сеанса облучения гамма-лучами. После него запускается механизм

разрушения очага, который "работает" в течение нескольких месяцев за счет поглощенной в облучаемой единице входной дозы γ -энергии в нужной лечебной концентрации.

Продолжительность процедуры в среднем занимает 30 минут, но может в особенно сложных случаях достигать до 3 часов.

Лечение проходит в амбулаторном режиме, госпитализация не требуется, а также не нужно вносить ограничения в жизнь пациента [7].

4. «Кибер-Нож»

«Кибер-Нож» – радиохирургическая роботизированная система для лечения доброкачественных и злокачественных опухолей различной этиологии [8].

Лечение и принцип работы

Сканирование – перед лечением системой CyberKnife пациент проходит процедуру формирования изображения. На этом этапе определяются размер, форма и расположение опухоли. Для этого используется компьютерная томография, а для конкретных видов опухолей могут применяться магнитно-резонансная томография, рентгеноангиография или позитронно-эмиссионная томография.

Планирование – после сканирования данные изображения в цифровом виде передаются в рабочую станцию планирования лечения системы CyberKnife. Лечащий врач определяет место расположения опухоли, необходимую дозу радиации так, чтобы не задеть другие здоровые ткани, облучения которых следует избегать. Затем разрабатывается план лечения. Важно правильно рассчитать количество лучей, длительность и углы облучения.

Лечение – во время процедуры CyberKnife пациент удобно лежит на процедурном столе с автоматическим позиционированием. Анестезия не требуется, поскольку процедура безболезненная и неинвазивная. Процедура занимает от 30 до 90 минут. За это время с различных направлений испускается 100-200 радиационных лучей по 10-15 секунд каждый. Перед излучением каждого радиационного луча системой "CyberKnife" снимают-

ся одновременно два рентгеновских снимка, которые сравниваются с результатом изначального томографического сканирования. По окончании процедуры пациент может отправляться домой.

Повторное обследование – через несколько недель проводится повторное сканирование с помощью компьютерной или магнитно-резонансной томографии, чтобы убедиться в разрушении и отсутствии облученной опухоли.

Основные составляющие системы

Линейный ускоритель X-band – генерирует разрушающие опухоль радиационные лучи. Так как ускоритель достаточно компактный и легкий, он устанавливается прямо на роботе-манипуляторе.

Робот-манипулятор – рука манипулятора обладает шестью степенями свободы. Он обеспечивает перемещение и наведение линейного ускорителя с исключительной точностью и повторяемостью практически с любого направления. Из-за своей гибкости он позволяет уменьшить риск поражения клеток, находящихся рядом с опухолью. Более того, возможно сопровождение перемещения опухоли, связанное с дыханием, так как рука манипулятора очень быстро реагирует на изменения.

Система контроля по изображению с наведением мишени и обратной связью в режиме реального времени – обеспечивает непрерывное слежение, контроль и коррекцию перемещения опухоли и пациента в ходе процедуры без вмешательства врача.

Детекторы изображений – фиксируют анатомические снимки с высоким разрешением в ходе процедуры. Эти снимки позволяют сравнивать положение пациента в реальном времени и помогают роботу-манипулятору изменять направление излучения.

Источники рентгеновского излучения – в течение всей процедуры выполняются снимки для того, чтобы определить положение ориентиров, формируемых костями. Источники рентгеновского излучения и детекторы изображений жестко фиксированы [9].

На рисунке 4 представлена установка «Кибер-ножа».



Рисунок 4 – Установка «Кибер-ножа»

Область применения

В настоящее время CyberKnife используют для лечения многих заболеваний головного мозга, спинного мозга, предстательной железы, легких, органов мочевыделительной системы и печени.

Преимущества системы «Кибер-нож»

Лечение на системе «Кибер-Нож» не требует анестезии, проводится амбулаторно, а также совсем безболезненно. Продолжительность всего курса лечения на системе «Кибер-Нож», включая подготовку, и восстановительный период, минимальна.

Система «Кибер-Нож» отслеживает положение опухоли и, в случае изменения положения пациента или из-за дыхания, корректирует направ-

ление облучения, что позволяет пациенту свободно дышать и комфортно лежать во время процедуры.

В отличие от Гамма-ножа, нуждающегося в жестком креплении для обеспечения неподвижности, «Кибер-Нож» исключает такие крайние меры. Вместо этого система «Кибер-Нож» применяет новейшее программное обеспечение, отслеживающее положение облучаемой опухоли, и обеспечивает гораздо более удобное неинвазивное лечение.

Система «Кибер-Нож» удобна тем, что она применяется для лечения широкого ряда опухолей в любой части тела, включая головной мозг, позвоночник, лимфоузлы, предстательную железу, легкие, печень, поджелудочную железу и почки.

Система «Кибер-Нож» обладает непревзойденной точностью лечения, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к стереотаксической радиохирургии. А самое главное, здоровые ткани при этом не страдают. [10]

Заключение

Таким образом, системы «Гамма-нож» и «Кибер-нож» применяются для лечения широкого ряда опухолей в любой части тела, включая лимфоузлы, легкие, головной мозг, позвоночник, печень, поджелудочную железу и почки. Лечение данными установками позволяет удалить злокачественные опухоли даже на последних стадиях, что является огромным вкладом в развитии медицины, поэтому развитие данных приборов или похожих на них сможет увеличить количество выздоровевших людей.

Литература

1. Гамма-нож. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электрон. ресурс]. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гамма-нож> (дата обращения 25.10.2020)
2. История технологии кибер-нож. Русский медицинский сервер. [Официальный сайт]. <http://www.rusmedserv.com/cyberknife/cyber-knife-history/> (дата обращения 25.10.2020)
3. Все что вы хотели узнать о Кибер-Ноже. Medvoyage.info. Портал о медицинском туризме [Электрон. ресурс]. <https://medvoyage.info/news/tourism/vse-cto-vy-khoteli-uznat-o-kiber-nozhe> (дата обращения 25.10.2020)

4. Стереотаксическая радиохирurgia (SRS) и фракционная стереотаксическая лучевая терапия (SBRT). Национальный медицинский исследовательский центр онкологии [Официальный сайт] <http://www.rnioi.ru/o-nas/innovatsionnye-tekhnologii/stereotaksicheskaya-radiokhirurgiya/> (дата обращения 08.11.2020)
5. Стереотаксическая конформная лучевая терапия. Национальный Медицинский Исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина [Официальный сайт] <https://meshalkin.ru/stereotaksicheskaya> (дата обращения 08.11.2020)
6. Зайченко Е. Гамма-нож - что это? Лечение гамма-ножом // FB.ru. 20.07.2014. [Электронный ресурс]. <https://fb.ru/article/147183/gamma-noj---chto-eto-lechenie-gamma-nojom> (дата обращения 04.11.2020)
7. Погребной С. Гамма-нож и Кибер-нож: показания к операции, цены, риски и последствия лечения. 08.04.2020. Сайт компании Artusmed [Официальный сайт]. <https://msk-artusmed.ru/nejrohirurgiya/gamma-nozh-i-kiber-nozh/> (дата обращения 01.11.2020)
8. Табакова С.А. Когда Гамма-нож - единственное решение. // ЗДРАВООХРАНЕНИЕ ЮГРФ: опыт и инновации. 2015, № 2, с. 3-5. CIBERLENINKA. [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/kogda-gamma-nozh-edinstvennoe-reshenie/viewer> (дата обращения 31.10.2020)
9. Обзор системы CyberKnife. Онкологическая клиника МИБС [Официальный сайт]. <https://radiosurgery ldc.ru/obzor-sistemy-cyberknife> (дата обращения 31.10.2020)
10. Лечение Кибер-Ножом. Центр лучевой терапии в Москве «ОнкоСтоп». [Официальный сайт]. <https://oncostop.ru/tekhnologii/v-chem-unikalnost-sistemy-kiber-nozh-cyberknife> (дата обращения 07.11.2020)

АППАРАТ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОЕ СЕРДЦЕ

**А.В. Моисеев, Р.В. Савин, В.В. Тома,
И.А. Тюлькина, К.Д. Самойленко, Н.В. Коробов**

Данная статья посвящена таким важнейшим изобретениям человечества, как аппарат искусственного кровообращения и искусственное сердце. Мы предлагаем ознакомиться с историей их создания и дальнейшего развития. Целью нашей работы стало изучение основ работы устройств, позволяющих поддерживать нормальное кровообращение в организме людей, страдающих заболеваниями кровеносной системы. Также нами были рассмотрены, как уже существующие достижения в этой области, так и перспективы развития систем искусственного кровообращения.

Введение

Непрерывный обмен веществ в клетках является необходимым условием жизни организма. Клетки и органы должны постоянно снабжаться питательными веществами и кислородом. Этот процесс обеспечивается кровью, циркулирующей по органам. Но кровь может выполнять свои функции только в движении. Это движение обеспечивается сердцем.

Кровообращение через сердце устроено так, что лишённая кислорода кровь от органов человека поступает в правую часть сердца, выталкивающей её к легким. В легких кровь насыщается кислородом и возвращается в левую часть сердца. Затем она выталкивается обратно в тело человека и поступает к органам. Получается, что правая часть сердца перекачивает обеднённую кислородом кровь, а левое – обогащённую.

Для лечения сердечных болезней человечество изобрело множество лекарственных препаратов. Но бывают такие болезни, при которых даже самые современные медикаменты оказываются бессильными. Сердце или его пораженные части приходится менять.

При крайней степени нарушения функций сердца или при проведении кардиологических вмешательств используются механические устройства, способные временно исполнять функцию сердца для поддержания

достаточного уровня жизненно-важных параметров организма человека. Именно эти устройства: аппарат искусственного кровообращения и искусственное сердце, освещаются в данной статье.

1. История появления и развития аппаратов

Начнем своё повествование об искусственном сердце с краткой истории трансплантологии, поскольку именно благодаря ей возможен сложный процесс вживления этого механизма в человеческий организм. Первая трансплантация сердца от человека человеку была произведена 3 декабря 1967 г. южноафриканским хирургом Кристианом Барнардом. Прожив всего 18 дней с новым «органом», пациент скончался от пневмонии. Это был печальный опыт для медицины, но именно он положил путь для тысяч успешных пересадок сердца в последующие 50 лет. Последователем Барнарда стал Адриан Кантровиц. Он произвел вторую пересадку сердца и первую трансплантацию сердца 18-дневному младенцу. К концу 1968 г. 102 пациента в 50 различных учреждениях из 17 стран благодаря трансплантации стали обладателями здоровых сердец. Однако, как правило, операция имела плачевный результат. Низкая выживаемость¹ вызывала всеобщее разочарование в медицинском сообществе и широкой публике. Несмотря на всеобщее неодобрение, Норман Шамвей из Стэнфорда, Ричард Лоуэр из Университета Вирджинии и несколько других хирургов настаивали на улучшении результатов выживаемости в начале 1970-х гг. В 1983 г. в арсенал хирургов-трансплантологов введен препарат циклоsporин², позволяющий значительно снизить риск отторжения пересаженного органа. Этот прорыв в сочетании с усовершенствованиями других иммуносупрессивных средств – препаратов для искусственного снижения иммунитета - быстро дал улучшенные результаты и убедил медицинское сообщество в необходимости признать спасительную ценность трансплантации.

¹ 60% смертность к 8-му послеоперационному дню и средняя выживаемость 29 дней

² Мощный иммунодепрессант

С годами трансплантология значительно продвинулась, что повлекло за собой заметное увеличение эффективности операций по пересадке человеческого сердца. Это послужило причиной того, что востребованность трансплантаций серьезно возросла что, в свою очередь, привело к дефициту донорских органов и появилась необходимость в создании искусственного сердца для человека.

Разработка искусственного сердца берет свое начало в работах советского ученого В.П. Демихова, который доказал возможность поддержания кровообращения в теле собаки с помощью пластикового насоса, имплантированного на место сердца животного. Собака прожила 2,5 часа. Таким образом был зарожден аппарат искусственного кровообращения. [1]

В 1969 г., когда американский хирург Д. Кули произвёл имплантацию искусственного сердца больному, которого после осложнений не удавалось отключить от аппарата искусственного кровообращения, была реализована идея имплантации искусственного сердца на период поиска подходящего донора. Через 64 часа работы искусственное сердце было заменено на аллотрансплантат – орган или ткань, используемый при трансплантации в пределах одного вида (в частности, от человек к человеку). [1]

Для создания пневмогидравлического насоса, поддерживающего жизнедеятельность человека и способного временно заместить его естественное сердце до того момента, когда появится возможность установить донорское сердце взамен искусственного, в конце 1960-х гг. в СССР была создана целая научная группа. В 1974 г. между СССР и США было заключено соглашение «О совместных исследованиях и разработке искусственного сердца». Совместные работы по проблеме искусственного сердца с медиками США велись в течение 20 лет.

По состоянию на 2010 г. эффективный имплантируемый человеку протез всего сердца всё еще не был создан. Несмотря на проведение в кардиохирургических клиниках успешных частичных замен органических компонентов на искусственные, полная замена всего органа еще не была

введена в использование. Например, производились замены клапанов, крупных сосудов, предсердий, желудочков.

В НЦССХ им. А. Н. Бакулева 26 марта 2010 г. была произведена первая операция по полной замене сердца человека на искусственный аналог CardioWest. [3] Пациентом стала 60-летняя женщина с дилатационной кардиомиопатией³, находящаяся в «Листе ожидания» на трансплантацию сердца более трех месяцев. Схематическое изображение аппарата можно увидеть на рисунке 1. Устройство обеспечивает кровоснабжение органов и тканей пациента. Главным его недостатком является наличие аккумулятора массой 10 кг, нуждающегося в перезарядке каждые 12 часов. Пациентку с вживленным аппаратом можно увидеть на рисунке 2. На фотографии, рядом с женщиной находится упомянутый внешний аккумулятор. В настоящее время такие протезы рассматриваются как временная мера, позволяющая пациенту с тяжелой сердечной патологией дожить до момента пересадки сердца. [4]

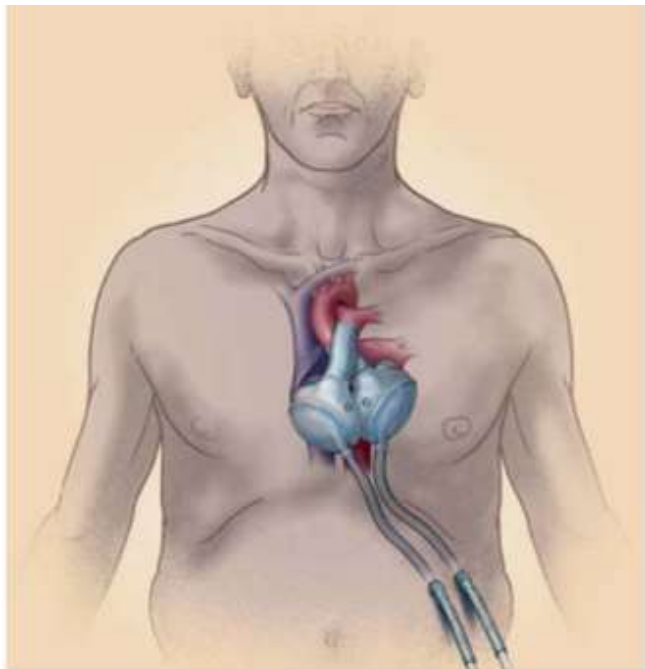


Рисунок 1 – Схематическое изображение имплантируемой системы CardioWest



Рисунок 2 – Пациентка с имплантированным аппаратом CardioWest

³ Заболевание миокарда, характеризующееся развитием дилатации (растяжения) полостей сердца

2. Аппарат искусственного кровообращения

На данный момент под категорию искусственного сердца попадают два вида технических устройств. [6]

Первый вид составляют аппараты искусственного кровообращения (АИК) – внешнее устройство. Ко второму виду относятся кардиопротезы – устройства, которые имплантируются в человека. Эти устройства предназначены для того, чтобы поддерживать жизнь человека при полной или частичной неспособности сердца выполнять свои функции.

Современная медицина использует три системы искусственного (экстракорпорального) кровообращения: общего, регионарного и вспомогательного. Регионарное и вспомогательное кровообращения позволяют обеспечивать кровоснабжением отдельный орган, временно изолированный от кровеносной системы. В случае общего искусственного кровообращения АИК полностью заменяет легкие и сердце. Это способ широко практикуется в кардиохирургии.

Аппарат конструктивно состоит из двух блоков: физиологического и механического.

Первый блок составляют все компоненты аппарата, которые контактируют с кровью. Его главными узлами являются оксигенатор («легкие») и насос («сердце»). Сюда также входят теплообменник, фильтр-ловушка, система коронарного отсоса, шланги и емкости. Эти компоненты, соединяясь между собой, формируют систему, по которой циркулирует кровь. Механический блок образуют корпус АИК с приводами подвижных частей оксигенатора и насосов, а также измерительная аппаратура.

Принцип работы аппарата устроен так (рисунок 3), что венозная кровь самотеком попадает в оксигенатор, находящийся ниже операционного стола, там она освобождается от углекислого газа и обогащается кислородом.

Далее насос через теплообменник и фильтр подает кровь в кровяное русло пациента.

Кровь из поврежденных сосудов и открытых сердечных полостей отводится при помощи специального устройства (коронарного отсоса).

Таким образом, оборудование АИК работает в обход сердца, замыкаясь на него только на начальном и конечном этапе забора крови из полых вен и отдачи ее в артерию, полностью заменяя его на некоторое время. АИК является громоздким внешним устройством и используется обычно только на время операции. [4]

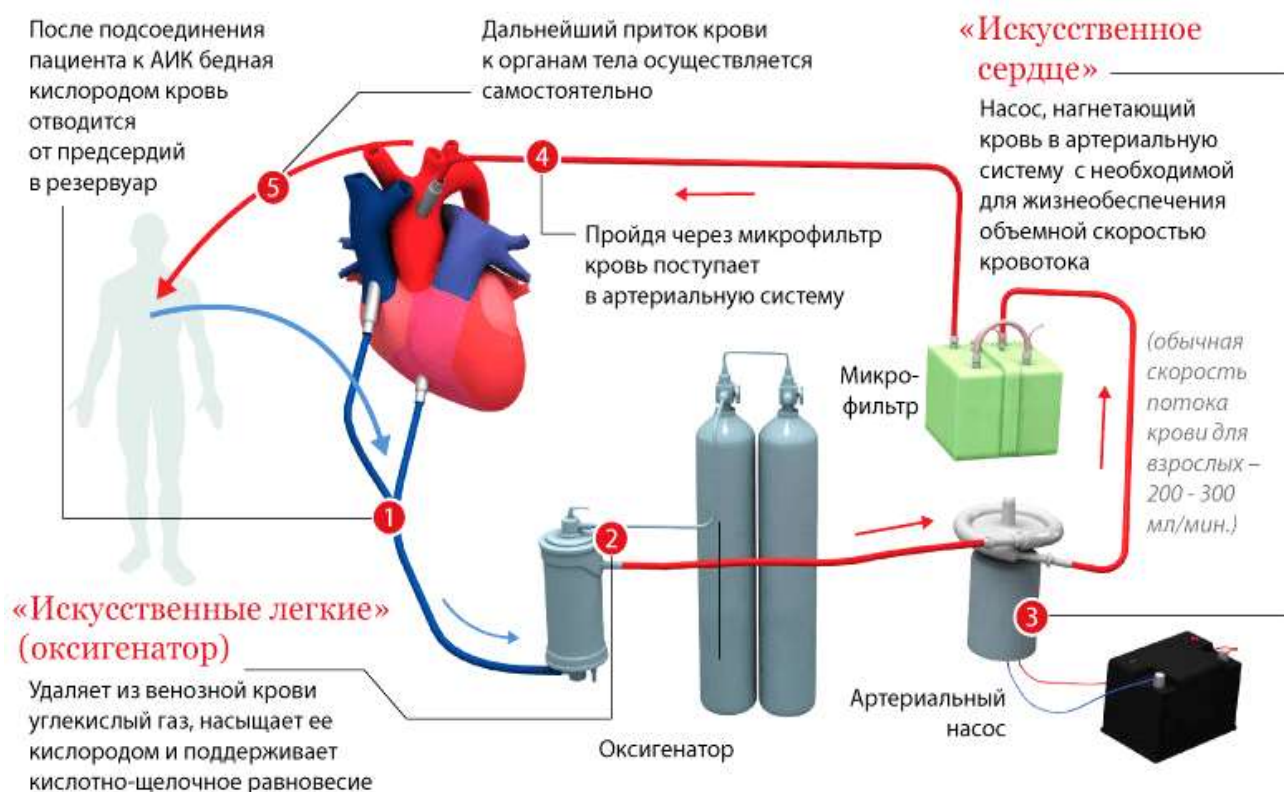


Рисунок 3 – Схема аппарата искусственного кровообращения

3. Искусственное сердце и кардиопротезы.

Современные импланты

Если речь идет не о временном отключении собственного сердца и переключении на АИК, чтобы потом снова запустить «живой мотор», а о полноценной замене изношенного и неработающего сердца человека, то используются кардиопротезы, их сегодня называют «искусственными сердцами». Усовершенствованные модели зарядного устройства уже можно было носить в ранце.

Испытывались приборы, питание которых осуществлялось не по проводам, идущим в тело человека, а при помощи радиосигналов, транслируемых батареями и принимавшихся детектором, имплантированным в брюшную полость. Имплант был снабжен внутренним аккумулятором, что позволяло на протяжении короткого времени существовать автономно. [8]

В настоящее время одной из немногих компаний-производителей такого типа искусственных сердец, одобренных специализированными международными медицинскими организациями, является SynCardia. Ее продукцией воспользовались уже около 1,5 тыс. пациентов, а самый долгий срок жизни с искусственным сердцем этого типа составил почти 4 года. Многие пациенты дождались получения живого донорского сердца. Устройство SynCardia (рисунки 4 и 5) замещает оба желудочка и четыре клапана сердца, способствуя восстановлению жизненно важных органов пациента, что позволяет частично отменить сильнодействующие лекарственные препараты и дать возможность организму подготовиться к трансплантации. SynCardia - искусственное сердце на пневмоприводе. Рабочая его часть - имплантируемое насосное устройство, представляющее собой два искусственных желудочка, изготовленных из биополимеров медицинского назначения (полиуретана). Каждый искусственный желудочек состоит из кровяной и воздушной камер. [4]



Рисунок 4 – Устройство SynCardia

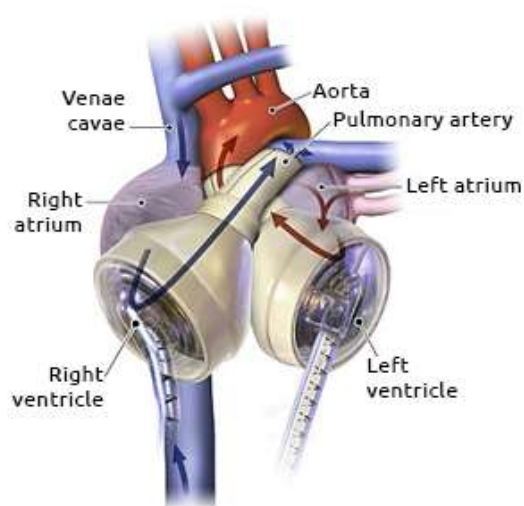


Рисунок 5 – Устройство SynCardia
в теле человека

Кровяные камеры с помощью специальных манжет, содержащих искусственные клапаны, соединяются с предсердиями, аортой и легочным стволом. Воздушные камеры через воздухопровод в свою очередь связаны с воздушным компрессором, который находится вне организма. При подаче воздуха от компрессора в правую воздушную камеру в ней повышается давление.

Гибкая мембрана, разделяющая воздушную и кровяную камеры, выгибается в полость кровяной камеры, повышая в свою очередь давление в ней. В результате происходит выброс крови из правой кровяной камеры в легочную артерию. Далее кровь проходит малый круг кровообращения через легкие и обогащенная кислородом возвращается в левое предсердие.

Благодаря вакууму в левой воздушной камере, втянувшаяся в нее мембрана затягивает кровь в левую кровяную камеру. В результате создавшегося в ней избыточного давления происходит выброс крови из левой кровяной камеры в артерию, в большой круг кровообращения через все тело человека.

Кровь в кровяные камеры поступает из предсердий, когда в воздушных камерах создается вакуум. Таким образом, цикл замыкается. Процессы в правой и левой частях устройства синхронизированы, также, как это происходит в живом сердце. Регуляция процесса осуществляется с помощью специальной системы управления - привода искусственного сердца. [6]

4. Преимущества и недостатки аппаратов искусственного кровообращения и кардиопротезов

АИК, как устройства предназначенные для поддержания жизни человека, стали незаменимы в кардиохирургии. Без них были бы невозможны операции на открытом сердце с его остановкой. В этом смысле альтернативы им нет. [7]

Несмотря на постоянное совершенствование медицинских технологий, подключение к АИК – это всегда тяжелое испытание для организма. Человек переживает состояние близкое к геморрагическому шоку, т.е. со-

стояние, наблюдаемое при широком повреждении тканей с обильной потерей крови. Падает давление, снижается общее периферическое сопротивление сосудов, ткани страдают от гипоксии, увеличивается склонность к склеиванию эритроцитов и т.д.

АИК не может заменить пациенту сердце на длительное время, а громоздкая сложная в управлении аппаратура навсегда привязывает человека к больничной койке, не позволяя ему жить хоть сколько-нибудь нормальной жизнью.

Иная ситуация обстоит с кардиопротезами. Они позволяют заменить жизненно важный орган и выйти из больничной палаты, но последние разработки искусственного сердца трудно назвать действительно обнадеживающими, потому что они имеют значительные несовершенства. Некоторое время большие надежды возлагались на аппарат искусственного сердца «AbioCor» (рисунок 6). Устройство находилось полностью в теле больного. Имелся внутренний аккумулятор, который подзаряжался от источника электроэнергии через кожу. Срок службы аппарата был приблизительно равен пяти годам, однако реальные цифры не приблизились к этому показателю, поэтому в 2015 г. проект был закрыт. [9]



Рисунок 6 – Искусственное сердце «AbioCor»

В 2013 г. устройство компании Carmat испытывалось, как постоянный, а не временный орган, полностью вживленный в тело. Датчики сами

регулировали работу искусственного сердца без команд извне, как это было бы в живом органе. Однако он не оправдал себя, потому что не имел возможности продлить пациентам жизнь более, чем на 2 месяца. Это послужило причиной для закрытия проекта.

В 2017 г. было создано силиконовое сердце, полностью имитирующее настоящий орган. Несмотря на то, что устройство обладало рядом преимуществ перед механическими аналогами, оказалось, что оно выдерживает только 30-45 минут работы, а потом материал деформируется. [9]

Заключение

Несмотря на все старания ученых, мечта навсегда заменить больное сердце протезом пока остается мечтой. Это поражение еще не означает, что совершенно точно невозможно создать искусственное сердце, которое бы полностью заменило живой орган. Пока что мы можем заключить, что использование искусственных органов, полностью заменяющих настоящие, находится на этапе разработки и требует множества исследований, а также поиска нестандартных решений возникающих проблем. Как и в 60-х годах прошлого века специалисты, борющиеся за будущее трансплантологии, не опускают руки и продолжают развиваться в своей области. Например, выращивание сердца из его же стволовых клеток имеет большие перспективы в будущем. Эта область стремительно развивается, и, возможно, через 10-15 лет технология выращивания сердца на заказ будет применяться повсеместно.

Литература

1. Бокерия Л.А. и др. Первый российский опыт успешного применения имплантируемого искусственного сердца CardioWest TAH-t (SynCardia) // Трансплантология. 2011. №1'11. С. 37-42.
2. Как выглядело первое искусственное сердце? // Hi-news.ru 16.12.2013 [Электрон. ресурс] <https://yandex.ru/turbo/hi-news.ru/s/science/kak-vyglyadelo-pervoe-iskusstvennoe-serdce.html> (дата обращения: 10.10.2020).
3. Нестерова Ю. Сердце на заказ: есть ли будущее у кардиопротезов? MedAboutMe. Медицина обо мне. 17.04.2020. [Электрон. ресурс] <https://medaboutme.ru/articles/serdtshe-na-zakaz-est-li-budushchee-u-kardioprotezov/> (дата обращения: 01.10.2020).

4. Кирклин Джеймс К. История трансплантации и механической поддержки сердца человека: 50 лет инноваций и применения // Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского. 2017. №17. С. 22-27.
5. Маврина М.Д. Полезная информация об искусственном сердце для сердечников. Лечи сердце. Портал о диагностике, лечении и профилактике заболеваний сердца. [Электрон. ресурс] <https://lechiserdce-ru.turbopages.org/lechiserdce.ru/s/lechenie/21467-iskusstvennom-serdtse.html> (дата обращения: 01.10.2020).
6. Анатомия сердца человека. Сайт клуба OUM.RU [Электрон. ресурс] <https://www.oum.ru/literature/anatomiya-cheloveka/anatomiya-serdtsa-cheloveka/> (дата обращения: 01.10.2020).
7. The Total Artificial Heart. Сайт Carmat [Электрон. ресурс] <https://www.carmat.com/en/> (дата обращения: 01.10.2020).
8. Урманцева А. Идеальное искусственное сердце должно иметь вечную батарейку и не стучать // РИА новости. 29.09.2017. [Офиц. сайт] <https://ria.ru/20170929/1505797611.html> (дата обращения: 01.10.2020).
9. Николаев Д.А. The mechanical heart // Бюллетени медицинских Интернет-конференций. 2015. №12. С. 1621.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК ВВОДА ТРОАКАРОВ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ НА ПЕЧЕНИ

Р.И. Гильмутдинов, Д.М. Ахмедов, А.А. Бадаев, Г.В. Кухарчук

Так как современное здравоохранение невозможно без технического оснащения, данная статья посвящена разработке модели предоперационного определения мест оптимальной установки манипуляционных троакаров при лапароскопических операциях на печени с целью сделать проведение операций любой сложности наиболее эффективным.

Введение

Биомедицинская техника относится к тем областям техники и научных знаний, которые направлены на создание и обслуживание медицинских аппаратов и инструментов диагностики, профилактики, лечения и реабилитации человеческих заболеваний, и которые также направлены на разработку программного обеспечения для решения задач медико-биологической практики. [1]

Лапароскопическая хирургия – одно из наиболее перспективных направлений хирургии, так как после лапароскопической операции минимальны операционные травмы, повышено качество и уменьшено время лечения больного. Правильное введение манипуляционных инструментов делает возможным быстрое и удобное проведение операции любой сложности. [2]

Постановка проблемы

Осмотр внутренних органов и подход к ним под строго определенным углом обеспечиваются, благодаря посредственной визуализации объекта операции, жесткой фиксации манипуляторов эндоскопа и эндоскопа к операционным портам. Так, определение наиболее целесообразной расстановки троакаров, обеспечивающей адекватную операционную экспозицию и необходимый объем оперативных действий, остается актуальной проблемой в эндохирургии. [2]

В данной работе мы планируем путем теоретического моделирования составить программу для предоперационного определения мест ввода троакаров при операциях на печени. При составлении программы учитываются принципы установки троакаров, описанные во множестве исследований и законы геометрии школьного курса.

Сегодня большая часть хирургических операций проводится с использованием различных видов энергии, требующихся для рассечения и коагуляции тканей. Вопреки тому, что применяются разные виды энергии, такие как лазер, высокочастотная энергия, аргон, ультразвук, радиоволны, фундаментальные принципы, которые приводят к разрушению тканей и гемостазу, едины и основаны на принципе нагревания.

Электрохирургия имеет наибольшую популярность в лапароскопии, она давно и хорошо знакома хирургам. Повышение уровня её безопасности максимально снижает частоту повреждений.

Основные принципы введения троакаров

Не следует устанавливать троакары в непосредственной близости от реберной дуги и мечевидного отростка грудины, костей таза - это ограничивает их подвижность.

Близкое расположение троакаров друг к другу мешает движениям инструментами.

Угол между двумя основными манипуляторами при сближении их в операционной зоне должен быть как можно менее острым.

Введение троакаров обязательно должно контролироваться визуально со стороны брюшной полости (учитывается расположение внутренних органов, наличие сращений париетальной брюшины, ход наиболее крупных сосудов, определяемых методом диафаноскопии).

Строго радиальная, по отношению к оперируемому органу, установка троакаров значительно облегчает и ускоряет ход операции. [4], [5]

Методы исследования и расчетные параметры

Расположение троакаров не всегда может совпадать со «стандартными» схемами, но при этом должны соблюдаться некоторые определенные условия.

Опираясь на правила установки троакаров, описанных ранее, и применяя законы простой геометрии, в ходе данной работы с помощью аналитических методов выработан способ нахождения областей оптимальной установки троакаров при лапароскопических операциях на печени.

Предлагаемый способ осуществляется так:

На рисунке 1 показано человеческое тело в сагиттальной плоскости, т.е. в продольном сечении. Условно примем его за эллипс.

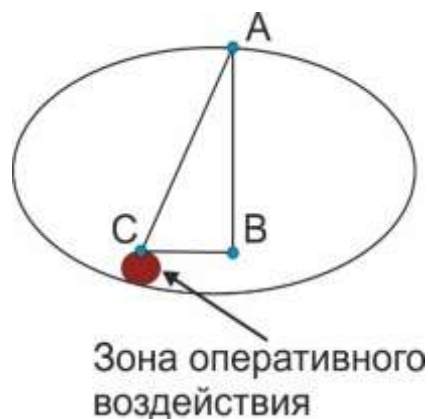


Рисунок 1 – Зона оперативного воздействия

- Строим внутри этого эллипса прямоугольный треугольник ABC, где:
- гипотенуза AC (глубина операционного действия инструмента) является расстоянием от места введения гильзы троакара до операционного поля (в идеале это должна быть половина длины используемого инструмента);
 - угол $\angle C$ - угол подъема (его значение в идеале стремится к 60° и может колебаться в пределах $45-75^\circ$);
 - катет AB - глубина раны, измеренная с помощью ультразвукового исследования (УЗИ).

Вычисляем катет BC и гипотенузу AC при разной величине угла $C=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$. При этом всякому значению угла подъема будет ставиться в соот-

ветствие определенная глубина операционного действия инструмента: при увеличении угла подъема уменьшается значение глубины операционного действия инструмента.

Рассмотрим схему, изображенную на рисунке 2, которая иллюстрирует операционное действие, в горизонтальной плоскости.

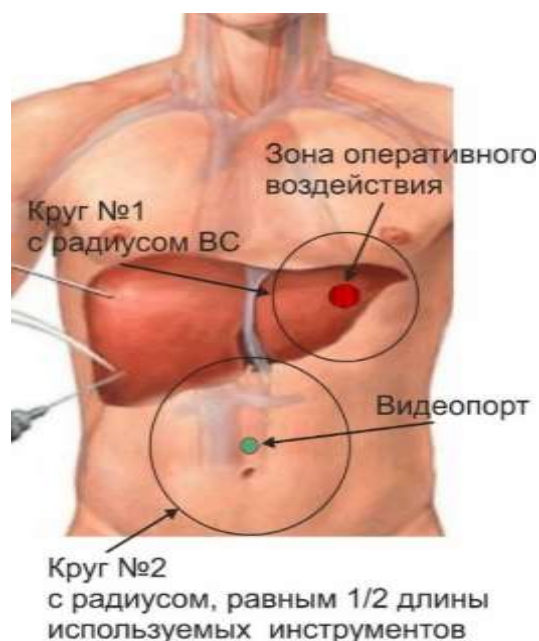


Рисунок 2 – Схема операционного действия

Проецируют на кожу передней брюшной стенки пациента место наибольшего оперативного воздействия, которое считается центром условного круга № 1 с радиусом, равным ВС. Причем необходимо отложить три возможных варианта круга ВС при разной величине угла $C = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$. Параумбиликальную область считают центром второго круга № 2 с радиусом, равным половине длины используемого лапароскопического инструментария (лапароскопа), с учетом правила, что расстояние между двумя действующими троакарами равно половине длины используемых инструментов.

Сопоставив антропометрические показатели пациента, а именно внешние размеры передней брюшной стенки, с полученными возможными вариантами расстояния ВС и соответствующими ему значениями АС, выбирают наиболее оптимальный вариант расстановки портов. [4], [5]

Круг радиуса R_1 и с центром в точке (X_1, Y_1) задается уравнением (1):

$$\sqrt{(x - X_1)^2 + (y - Y_1)^2} = R_1. \quad (1)$$

Область внутри круга R_1 задается неравенством (2):

$$\sqrt{(x - X_1)^2 + (y - Y_1)^2} < R_1. \quad (2)$$

Круг радиуса R_2 и с центром в точке (X_2, Y_2) задается уравнением (3):

$$\sqrt{(x - X_2)^2 + (y - Y_2)^2} = R_2. \quad (3)$$

Область внутри круга R_2 задается неравенством (4):

$$\sqrt{(x - X_2)^2 + (y - Y_2)^2} < R_2. \quad (4)$$

Линия L , проходящая через центры обоих кругов, может быть задана уравнением (5):

$$y = ax + b, \quad (5)$$

где:

$$a = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \quad b = \frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1}. \quad (6)$$

На рисунке 3 схематически показано расположение окружностей № 1 с радиусом R_1 и № 2 с радиусом R_2 , линии L и координаты центров окружностей.

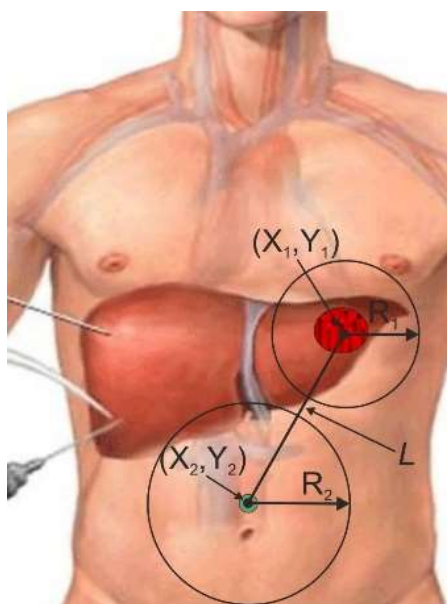


Рисунок 3 – Оптимальные точки ввода троакаров

Слева и справа симметрично от линии L опускаем два луча L_1 и L_2 . Угол между лучами составляет 45 градусов.

Луч L_1 задается уравнением

$$y = a_1x + b_1, \quad (7)$$

где коэффициенты a_1 и b_1 , полагая, что приближенно $tg(22.5) = 0.414$, могут быть найдены из уравнений

$$a_1 = \frac{a + 0.414}{1 - 0.414 \cdot a}, \quad b_1 = Y_1 - a_1 X_1. \quad (8)$$

Луч L_2 задается уравнением

$$y = a_2x + b_2, \quad (9)$$

где коэффициенты a_2 и b_2 соответственно определяются как

$$a_2 = \frac{a - 0.414}{1 + 0.414 \cdot a}, \quad b_2 = Y_1 - a_2 X_1. \quad (10)$$

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} \sqrt{(x - X_2)^2 + (y - Y_2)^2} = R_2 \\ y = a_1x + b_1 \end{cases}, \quad (11)$$

мы найдем оптимальное положение для первого троакара.

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} \sqrt{(x - X_2)^2 + (y - Y_2)^2} = R_2 \\ y = a_2x + b_2 \end{cases}, \quad (12)$$

мы найдем оптимальное положение для второго троакара.

Коэффициенты a, b, a_1, b_1, a_2, b_2 находят из уравнений (6), (8) и (10). [6]

Наша программа составлена на языке программирования — Delphi, ранее известный как Object Pascal. При разработке программы среда Delphi выполняет свою часть работы — создает пользовательский интерфейс.

Математическая модель задачи сводится в итоге к решению систем уравнений (11) и (12) для первого и второго троакаров.

Решение данных систем уравнений позволяет оценить места оптимального введения троакаров. На рисунке 4 представлен интерфейс про-

граммы, написанной на языке Delphi. Входными данными для данной программы являются: рост, вес, пол, конституция. Кроме того, есть возможность выбора сегмента печени, на котором планируется вмешательство. Для данной программы выходными данными являются файл с общей информацией о точных точках ввода троакаров.

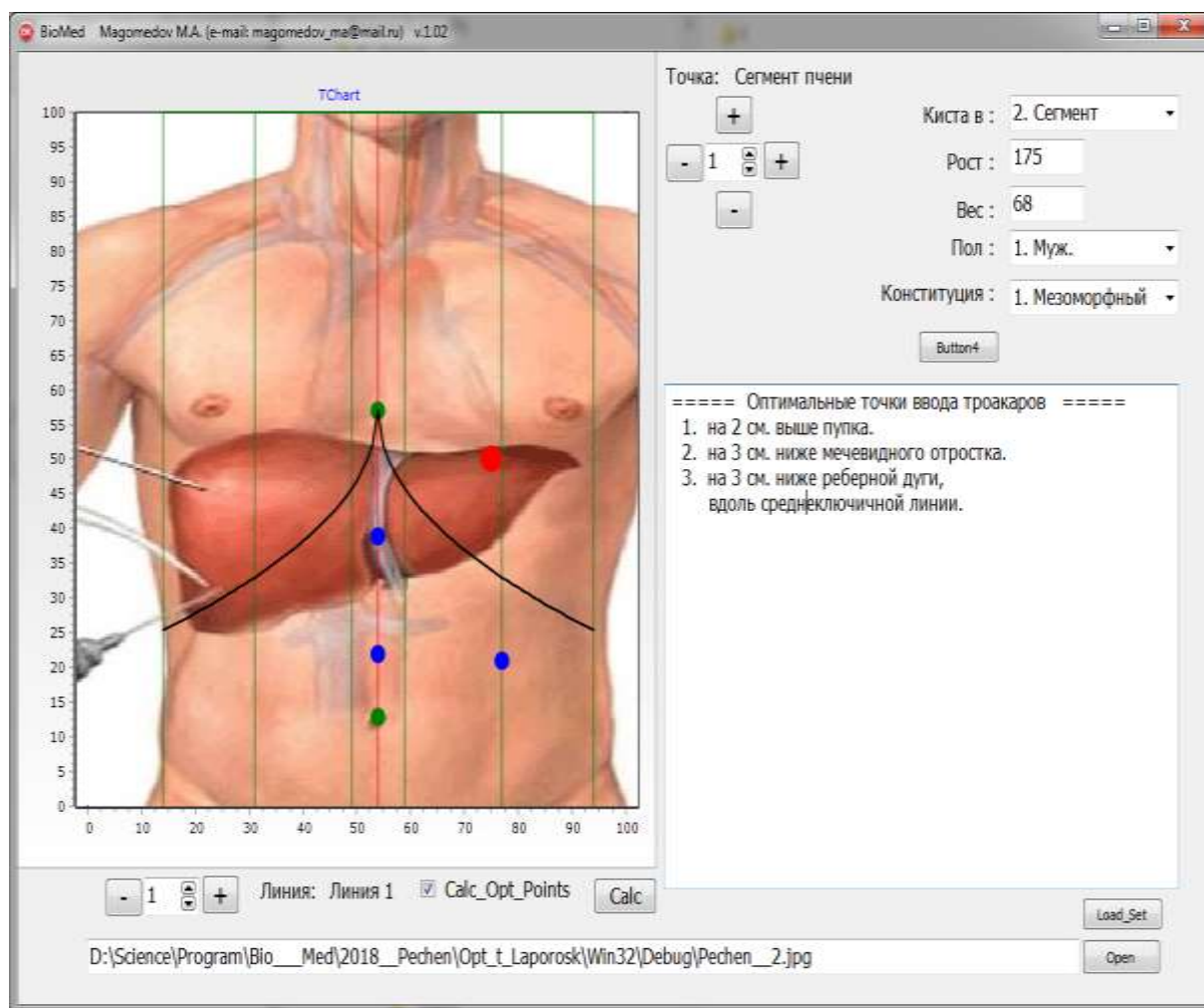


Рисунок 4 – Интерфейс программы

Заключение

Разработка программного обеспечения для решения задач медико-биологической практики является одним из ведущих направлений развития биомедицины.

В данной работе путем аналитического моделирования с использованием математического аппарата составлена программа расчета опти-

мальных точек ввода троакаров при операциях на печени на языке программирования Delphi.

Данная программа может быть использована, как модель при проведении лапароскопического вмешательства на печени. Она имеет простой и удобный для пользователя интерфейс и обладает свойством транспортабельности, так как занимает мало места.

Литература

1. Биомедицинская техника. Мое образование. [Электрон. ресурс] <https://moeobrazovanie.ru/spec200400.html> (дата обращения 01.10.2020).
2. Мнойн А.Х. Что такое лапароскопия, сколько длится и как проводится. 11.05.2020 Центр лапароскопической хирургии. [Офиц. сайт] <https://laparoskopiya.ru/laparoskopiya> (дата обращения 01.10.2020).
3. Тарасов А.Н., Устинов Н.А., Ваганов Н.В., Тарасов Д.А. Способ обеспечения эндоскопического доступа // Патент RU2188587С2. Челябинская государственная медицинская академия. 10.09.2002. FREEPATENT. Патентный поиск в РФ. [Электрон. ресурс] <http://www.freepatent.ru/patents/2188587> (дата обращения 01.10.2020).
4. Введение троакаров при лапароскопии. Техника лапароскопической холецистэктомии. МедУнивер - MedUniver.com. [Электрон. ресурс] <https://meduniver.com/Medical/Xirurgia/321.html> (дата обращения 01.10.2020).
5. Троакар. ЭНДОМЕДИУМ. Российский производитель эндохирургического оборудования и инструментария. [Офиц. сайт] <https://endo.ru/landings/troakar> (дата обращения 02.10.2020)
6. Окружность и ее элементы. EXAMER. Все для самостоятельной подготовки к ЕГЭ. ООО «Экзамер» [Электрон. ресурс] https://examer.ru/ege_po_matematike/teoriya/vpisannaya_opisannaya_okrugnost (дата обращения 01.10.2020).