

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
кафедра Основ радиотехники

ВВЕДЕНИЕ В МЕДИЦИНСКУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ

Выпуск 5



Москва

2021

РЕДКОЛЛЕГИЯ ВЫПУСКА

Бордаченкова Ольга Алексеевна, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-21)
Данилкина Юлия Сергеевна, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-21)
Изюмцев Даниил Олегович, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-20)
Исакова Надежда Игоревна, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-21)
Левченков Дмитрий Игоревич, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-21)
Мишенина Татьяна Борисовна, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-20)
Сарибекян Виолетта Аркадьевна, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-21)
Тронин Даниил Иванович, магистрант кафедры ОРТ (ЭР-16м-21)
Жихарева Галина Владимировна, к. т. н., доцент, доцент кафедры ОРТ

Настоящий выпуск содержит серию обзорных статей студентов первого курса Радиотехнического факультета МЭИ, обучающихся по направлению «Биотехнические системы и технологии», образовательная программа – «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». Работы выполнены научными коллективами студентов групп ЭР-15,16,17-21 в рамках освоения дисциплины «Введение в медицинскую электронику» и по достоинству оценены на зачетных занятиях.

В этом году набор на направление «Биотехнические системы и технологии» увеличился до трех групп и, соответственно, увеличился объем сборника статей.

Число заболеваний Covid-19, к сожалению, по-прежнему, велико, и, по-прежнему, интерес у студентов вызывают аппараты искусственной вентиляции легких и реанимационное оборудование. Кроме этого, в сборнике уделено внимание другим разнообразным темам, касающимся и технических методов диагностики и лечения заболеваний, и медицинских приборов, а также оптических протезов, экзоскелетов и нейротехнологий.

Хочется выразить искреннюю благодарность студентам-магистрантам групп ЭР-16м-20 и ЭР-16м-21 за большую помощь в работе над статьями, внимательность и ответственность.

*Доцент кафедры Основ радиотехники
Жихарева Галина Владимировна*

СОДЕРЖАНИЕ**ОПТИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ**

Е.А. Сурьян, Н.А. Гордеева, Т.Е. Литвинцев, Р.О. Павлушов,
А.Ю. Самбуров (ред. Ю.С. Данилкина)5

**АППАРАТ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ:
ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РОЛЬ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ**

А.Р. Горбунов, Ф.М. Килимник, М.М. Маслова, А.В. Кузнецов,
Я.И. Янкевич (ред. Ю.С. Данилкина).....21

АППАРАТЫ ЛУЧЕВОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Д.С. Новикова, А.М. Темп, И.А. Сабиров, Н.С. Локтев
(ред. Н.И. Исакова).....32

АППАРАТНЫЙ МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ ПСИХИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

А.А. Анненкова, Е.А. Житникова, Е.С. Пахомова,
М.Д. Шумакова (ред. Н.И. Исакова).....62

**ЧИП ДЛЯ МОЗГА. ЕГО СПЕКТР ВОЗМОЖНОСТЕЙ В МЕДИЦИНЕ
И В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ**

Д.А. Полуйко, Е.А. Муляр, Г.А. Журавлев, А.С. Линев,
Г.Д. Иванушкин (ред. Т.Б. Мишенина).....74

РЕАНИМАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

И.И. Самохин (ред. Т.Б. Мишенина)85

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОНКОЛОГИЕЙ

А.А. Цырендондоков (ред. Д.И. Тронин).....99

ЭКЗОСКЕЛЕТЫ

М.К. Регентов, В.О. Ястребова, А.С. Сергеев, С.А. Савичев,
В.А. Борисова А.А. Дьякова (ред. Д.О. Изюмцев) 111

ПРОТОННАЯ ТЕРАПИЯ

М.Р. Акмалов, Т.А. Ежов, А.С. Лукин, А.А. Фомина,
А.Д. Хлопков, Е.С. Шестерикова (ред. Д.О. Изюмцев) 129

АППАРАТЫ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

В.В. Бровкина, В.В. Бабин, О.И. Божьева, С.С. Вытнов,
А.В. Козлов, Л.Д. Уракова (ред. В.А. Сарибекян) 156

ВОЛНОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ

А.В. Фомина, Э.М. Любченко, А.Н. Горбунова, В.В. Зуева,
Я.А. Мельникова, А.С. Дугушкин (ред. О.А. Бордаченкова)..... 169

ЭЛЕКТРОТЕРАПИЯ КАК ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ
МЕТОД ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.С. Гусев, П.А. Романова, М.Ю. Комбаров, Г.И. Абрамов,
А.С. Бекетов, М.Ю. Нечаев (ред. О.А. Бордаченкова)..... 187

ЭЛЕКТРОСОМАТОГРАФ

А.С. Пасечник, Г.Н. Тулин, А.А. Сорокин, А.О. Поляков,
А.Ю. Самбуров (ред. Д.И. Левченков)..... 200

СИСТЕМА «МОЗГ – КОМПЬЮТЕР»

Н.А. Колесник, А.С. Дьячкова, А.А. Тилла, О.Н. Гневашева,
И.А. Кошенков (ред. Д.И. Левченков)..... 207

ОПТИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ

Е.А. Сурьян, Н.А. Гордеева, Т.Е. Литвинцев, Р.О. Павлушов,
А.Ю. Самбуров (ред. Ю.С. Данилкина)

Введение

Существует множество проблем с глазами, которые могут быть диагностированы и излечены с помощью современных методов. Ввиду высокой распространенности офтальмологических заболеваний и патологий среди населения, а также высокой социально-гигиенической значимости проблем ранней инвалидизации от этой группы болезней, своевременная диагностика и лечение приобретают особое значение. Для того, чтобы иметь возможность снижения частоты перечисленных заболеваний, необходимо подробное изучение анатомии и патогенеза данных заболеваний [3, 5].

Патологии и заболевания органов зрения представляют собой серьезную медико-социальную проблему, являясь причиной инвалидизации населения. При этом исследования подтверждают, что 80% всех причин нарушений зрения можно предотвратить или излечить.

Согласно данным ВОЗ, примерно, у 1,3 млрд людей в мире присутствуют те или иные формы патологии органов зрения. Легкие нарушения, связанные с дальнозоркостью, наблюдаются у 188,5 млн человек, патология средней и тяжелой степени – у 217 млн, и 36 млн человек имеют полную потерю зрения [1, 4].

Человеческий глаз имеет сложное строение, которое можно сравнить с устройством фотоаппарата, линзой которого является роговица с хрусталиком, а пленкой – сетчатка, чрезвычайно сложная многослойная структура, которая связана со зрительными отделами головного мозга с помощью нервных волокон, поэтому сетчатка, по сути, является частью мозга [6, 8].

Популяционные исследования показали распространенность заболеваний сетчатки в диапазоне от 5,35% до 21,02% в возрасте 40 лет и

старше. Как правило, этот недуг является второй по частоте причиной слепоты после катаракты [5, 7].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) за 1972 год, слепым человек считается, если острота центрального зрения в условиях максимальной коррекции не превышает 3/60. При таком зрении человек в условиях дневного света с максимальной коррекцией оптики не может сосчитать пальцы на расстоянии 3 метров.

Поэтому для таких случаев была предложена идея электрической стимуляции сетчатки или зрительной коры, создания протеза, который по механизму действия имитирует реальные процессы передачи электрических сигналов

Существует несколько вариантов электронных имплантатов, каждый год появляются новые идеи, но термин и сам Бионический глаз были разработаны Дэниелом Паланкером, сотрудником Стэнфордского университета и его исследовательской группой Биомедицинской физики и офтальмологических технологий.

Имплантация бионической модели глаза Argus II (кстати, единственной модели, имеющей бренд ЕС, но не сертифицированной в России) была проведена в России в июле 2017 года одному пациенту. И из всех источников телевизионного вещания мы слышали — теперь человек сможет видеть мир, как и раньше. Сотни людей просят поставить бионический глаз, а некоторые также просят “вживить” чипы для сверхзрения [10-12].

Цель работы – изучить современные биологические аспекты применения бионического глаза.

1. Уникальность строения глаза

Человеческое зрение невероятно. Человеческий глаз и мозг умеют распознавать объекты, часто даже когда они не полностью видны или ориентированы под разными углами, чем обычно. Например, увидев только силуэт кошки, даже маленькие дети могут определить, что это за животное. Увидев малейший след уличного фонаря в тумане, наши глаза мгновенно передают в мозг личность объекта. Вид птицы в небе с крыль-

ями при движении вниз или вверх нас не смущает; мы можем ясно распознать форму птицы. В среднем, время, необходимое для этого процесса восприятия и распознавания, составляет 70 миллисекунд, или примерно половину времени моргания глаза. Хотя мы часто думаем о своих глазах как о том, что мы видим, на самом деле мы «видим» нашим мозгом. За исключением хрусталика и роговицы, остальная часть глаза на самом деле является частью мозга.

Основными частями человеческого глаза являются роговица, радужная оболочка, зрачок, водянистая влага, хрусталик, стекловидное тело, сетчатка и зрительный нерв (рис. 1).

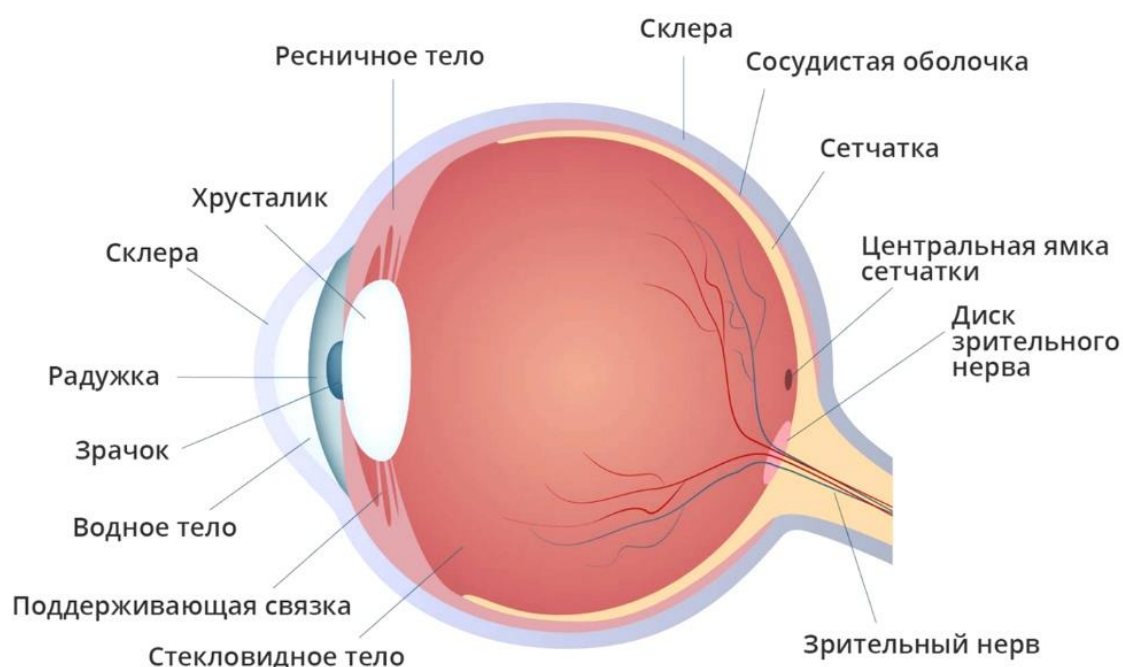


Рисунок 1 – Строение глаза

Свет попадает в глаз, проходя через прозрачную роговицу и водянистую влагу. Радужная оболочка контролирует размер зрачка, который является отверстием, через которое свет проникает в линзу. Свет фокусируется линзой и проходит через стекловидное тело к сетчатке. Палочки и колбочки в сетчатке преобразуют свет в электрический сигнал, который проходит от зрительного нерва в мозг.

Рассмотрим строение глаза подробнее.

- Роговица: свет проникает через роговицу, прозрачное внешнее покрытие глаза. Глазное яблоко закруглено, поэтому роговица действует как линза. Она изгибает или преломляет свет.
- Водяная жидкость: жидкость под роговицей имеет состав, аналогичный составу плазмы крови. Водянистая влага помогает формировать роговицу и питает глаза.
- Радужная оболочка и зрачок: свет проходит через роговицу и водянистую влагу через отверстие, называемое зрачком. Размер зрачка определяется радужной оболочкой - сократительным кольцом, которое связано с цветом глаз. По мере того, как зрачок расширяется (становится больше), в глаз попадает больше света.
- Линза: в то время как большая часть света фокусируется на роговице, линза позволяет глазу фокусироваться как на близких, так и на удаленных объектах. Ресничные мышцы окружают хрусталик, расслабляясь, чтобы сгладить его, чтобы отобразить удаленные объекты, и сжимаясь, чтобы утолщить хрусталик, чтобы отобразить объекты крупным планом.
- Стекловидное тело: требуется определенное расстояние для фокусировки света. Стекловидное тело представляет собой прозрачный водянистый гель, который поддерживает глаз и позволяет преодолевать такое расстояние.
- Сетчатка – это внешнее расширение центральной нервной системы, выстилающее внутреннюю часть глаза. Сетчатка имеет 10 слоев и состоит из стержней и колбочек фоторецепторов и опорных клеток, таких как клетки Мюллера (рис. 2) [6, 8].

2. Строение сетчатки глаза

Пигментный эпителий сетчатки (ППЭ) представляет собой слой правильных многоугольных отдельных клеток, расположенный за сетчаткой в самом внешнем слое, который обслуживает фоторецепторы. Мембрана Бруха – это базальная мембрана, расположенная между ППЭ и хориодом, высокососудистым слоем, который включает хориокапилляры,

которые поставляют питательные вещества в ППЭ и фоторецепторы. Структура и функция ППЭ важны для нормального зрения, а изменения ППЭ могут нарушить функцию и привести к ретинопатии [6, 8].

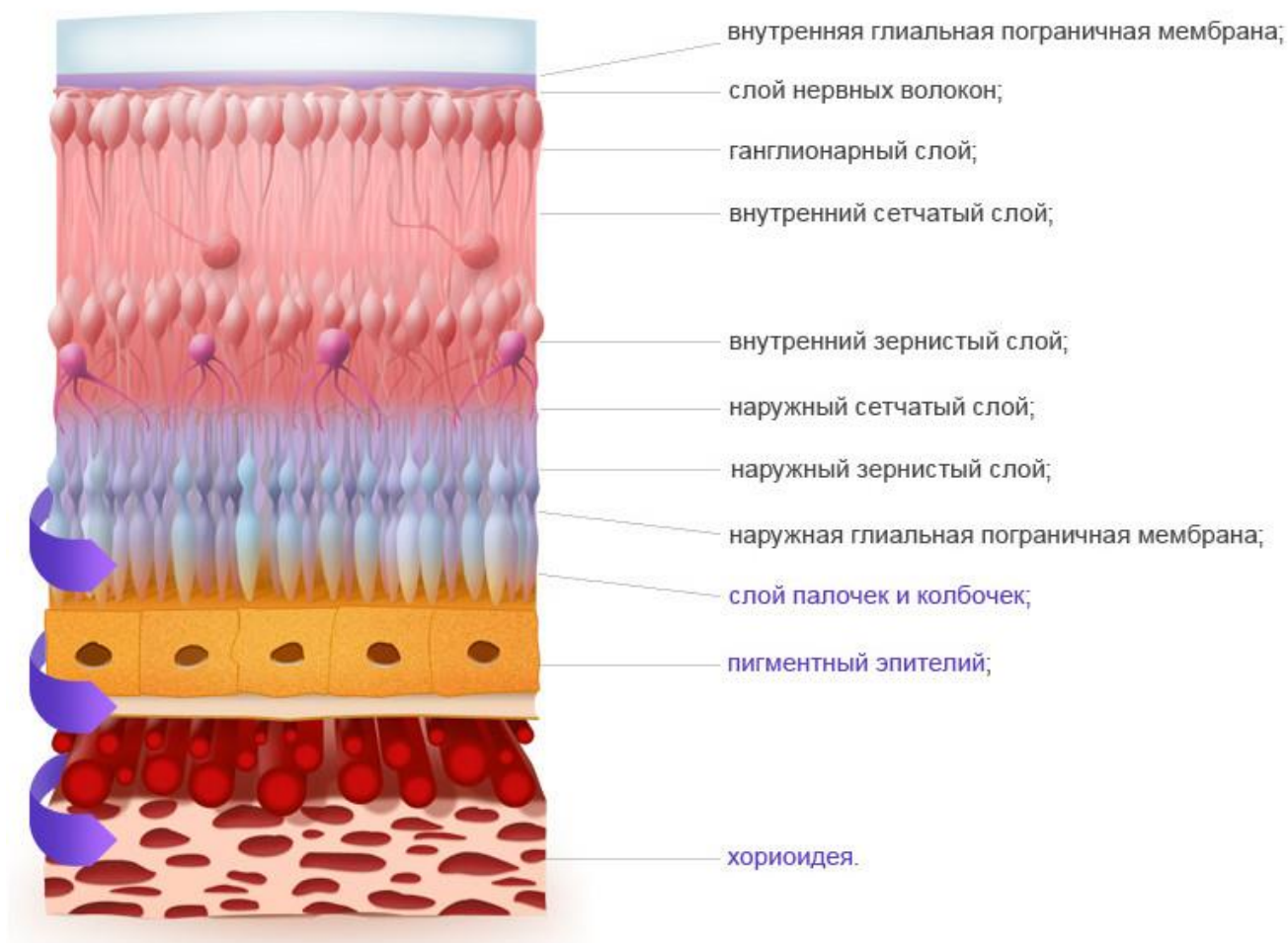


Рисунок 2 – Слои сетчатки

Упорядоченное расположение клеток сетчатки дает начало внешнему ядерному слою, содержащему ядра палочек и колбочек; внутреннему ядерному слою, содержащему ядра и перикарионы (основные клеточные тела вне ядра) биполярных клеток, и слою ганглиозных клеток, содержащему соответствующие структуры ганглиозных клеток.

Плексиформные слои – это области, в которых нейроны соединяются между собой. Внешний плексиформный слой содержит выступы стержня и

конуса, заканчивающиеся сферулой стержня и ножкой конуса, которые связаны с дендритными процессами биполярных клеток, так что изменения, производимые светом в палочках и колбочках, передаются через эти связи биполярным клеткам. Во внутреннем плексиформном слое находятся аксоны биполярных клеток и дендритные отростки ганглиозные и амакриновые клетки.

В сетчатке человека светочувствительные клетки бывают двух видов – палочки и колбочки. Палочки обычно намного тоньше колбочек, но оба построены по одному и тому же плану. Светочувствительный пигмент содержится во внешнем сегменте, который лежит на пигментном эпителии. Через другой конец, называемый синаптическим телом, световые эффекты передаются на биполярные и горизонтальные клетки. Электронно-микроскопическом исследовании видно, что внешние сегменты стержней и конусов состоят из стопок дисков, по-видимому, образованных в результате складывания ограничивающей мембраны, окружающей внешний сегмент. Зрительный пигмент, расположенный на поверхности этих дисков, распространяется на очень широкую область, что способствует эффективности свето-поглощения. Во всей сетчатке человека насчитывается около 7 000 000 колбочек и от 75 000 000 до 150 000 000 палочек.

Макула расположена фронтально по отношению к зрительному нерву и является частью сетчатки, содержащей наибольшую концентрацию фоторецепторов, особенно колбочек. Часть макулы с наибольшей концентрацией колбочек – это ямка. Ямку иногда называют – «желтое пятно». Это довольно расплывчатая область, характеризующаяся наличием желтого пигмента в нервных слоях, простирающимся по всей центральной сетчатке, т. е. ямке. Слепое пятно на сетчатке соответствует сосочку зрительного нерва, области на носовой стороне сетчатки, через которую волокна зрительного нерва выходят из глаза.

Таким образом, палочки и колбочки образуют мозаику (рис. 3), однако сетчатка не организована в виде простой мозаики в том смысле, что каждый стержень или колбочка соединены с одной биполярной

клеткой, которая сама соединена с одной ганглиозной клеткой. Имеется всего около 1 000 000 волокон зрительного нерва, в то время как существует не менее 150 000 000 рецепторов, так что на зрительном пути должно происходить значительное схождение рецепторов.

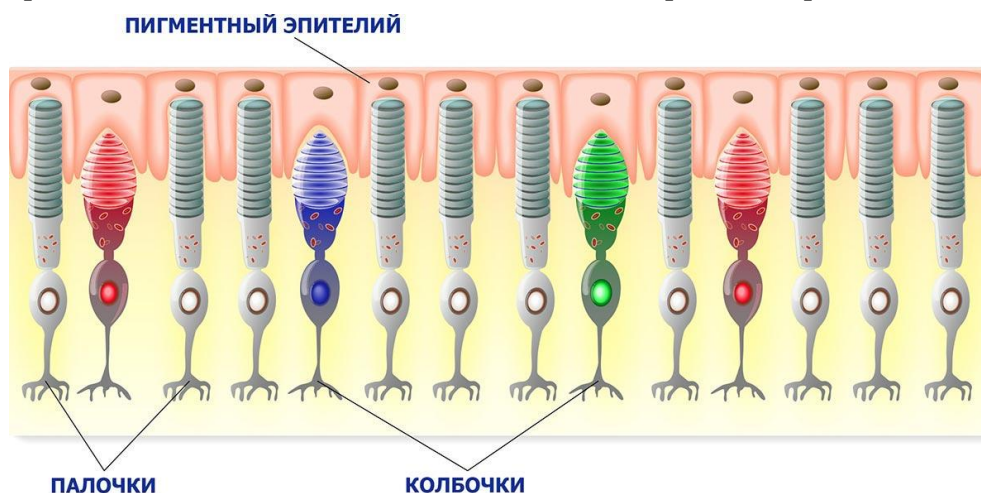


Рисунок 3 – Колбочки и палочки сетчатки

Кроме того, сетчатка содержит дополнительные нервные клетки помимо биполярных и ганглиозных клеток. Эти горизонтальные амакриновые клетки действуют в горизонтальном направлении, позволяя одной области сетчатки влиять на активность другой. Таким образом, например, сообщения от одной части сетчатки могут подавляться визуальным стимулом, падающим на другую, что является важным элементом в общей сумме сообщений, отправляемых в более высокие области мозга [6, 8].

Когда человек смотрит на объект, он не просто пассивно «позволяет» изображению проникать в глаза и записываться мозгом. К тому времени, когда изображение попадает на сетчатку, мозг уже (в течение нескольких миллисекунд) сравнивает этот объект с памятью о похожих объектах и формирует восприятие того, чем объект является. Из этого следует, что мозг может начать с изображения объекта в виде скелета, а затем отобразить на него другие компоненты.

3. Заболевания глаза

Заболевания сетчатки очень разнообразны и обусловлены воздействием различных факторов. Данные виды глазных патологий характеризуются различными патологоанатомическим и патологофизиологическим изменениям, что в свою очередь определяет нарушение зрительных функций и наличие характерных симптомов. Заболевания сетчатки проявляются снижением центрального и периферического зрения, нарушением свето- и цветоощущения, контрастной чувствительности, выпадениями в поле зрения. Болевые ощущения отсутствуют [3, 7, 9]

Заболевания сетчатки могут возникнуть при различных общих и системных заболеваниях – гипертонической болезни, сахарном диабете, заболевании почек и надпочечников, а также при травмах глаза, черепно-мозговых травмах. Некоторые инфекционные заболевания (грипп и др.) могут осложняться заболеваниями сетчатки.

Заболевания сетчатки подразделяются на следующие группы:

- сосудистые заболевания (острая непроходимость ЦАС и ЦВС);
- воспалительные заболевания (ретиниты);
- заболевания нейроциркуляторного характера (ретинопатии);
- дистрофические изменения или дегенерации;
- новообразования;
- аномалии развития;
- травматические повреждения [7].

Наследственные заболевания сетчатки (НЗС) представляют собой группу гетерогенных состояний, ведущих к потере зрения из-за прогрессирующей дегенерации сетчатки, и в основном вызваны менделевскими мутациями в 1 из не менее 300 генов.

Частота встречаемости моногенных заболеваний сетчатки колеблется от 1:5000 (болезнь Штаргардта) до 1:100 000 (синдром Ашера, ахроматопсия), что при разнообразии форм дает в среднем 1:4000 человек [7, 9].

4. Бионический глаз – современные представления

Бионическими называются протезы и имплантируемые элементы частей человеческого тела, которые по внешнему виду и функциям похожи на реальные органы или конечности. Сегодня бионические руки, ноги, сердца, а также органы слуха успешно помогают людям вести полноценную жизнь. Цель создания электронного бионического глаза – помочь слабовидящим людям с проблемами сетчатки или зрительного нерва. Имплантируемое вместо поврежденной сетчатки устройство должно заменить миллионы фоторецепторных клеток глаза, если не на 100 %.

Технология для глаз аналогична технологии, используемой в слуховых аппаратах, которые помогают глухим людям слышать. Благодаря ей пациенты с меньшей вероятностью теряют остаточное зрение, а те, кто теряет зрение, видят свет и имеют хоть какую-то способность ориентироваться в пространстве.

Общий принцип электронного глаза заключается в следующем: миниатюрная камера встроена в специальные очки, информация об изображении передается на устройство, которое преобразует изображение в электронный сигнал и отправляет его на специальный передатчик, который, в свою очередь, посылает электронный сигнал в имплантированный глаз или мозг приемника, или информация передается по крошечным проводам на электроды, прикрепленные к сетчатке: они стимулируют оставшиеся нервы сетчатки, посылая электрические импульсы в мозг, и зрительные нервы. Устройство предназначено для компенсации утраченных зрительных ощущений при полной или неполной потере зрения [10-12].

Основные условия успешной работы системы. Главным условием является наличие в глазу и мозге пациента части живых нервных клеток. Пациентами должны быть люди, которые когда-то нормально видели, так как слепые от рождения не могут пользоваться такими устройствами. Подходят люди, которые давно видели и имеют богатый визуальный опыт. В результате они мало что видят, но имеют представление об объектах и

догадываются, что это за объект. Необходимо развивать кору головного мозга и обладать достаточным интеллектом. И, конечно же, чем больше пикселей будет в чипе, тем четче будет полученное изображение.

Длительность срока службы пока точно неизвестна. Первая имплантация бионических глаз в Германии закончилась тем, что через год они у всех пациентов были удалены.

Технологический способ зарядки. Теперь бионические устройства работают по принципу индукции, а не на батарейках. Заряжается, как электрическая зубная щетка.

Попутно следует решить проблему окисления, нагрева и т.д. Например, перфорированная структура после имплантации может позволить нервным клеткам сетчатки автоматически проходить с верхней и нижней поверхностей фотодатчика через полости и соединяться, а также уменьшать нагрев пикселей и увеличивать их количество.

Микрохирургические аспекты протезирования. Данные операции – самые масштабные в офтальмологии. При имплантации субретинального (расположенного под сетчаткой) бионического глаза нужно полностью поднять сетчатку, затем сделать обширную ретинэктомию (отрезать часть сетчатки), затем установить этот чип под сетчатку, затем сетчатку с помощью лазера, склеить с помощью лазерной коагуляции и залить силиконовым маслом. Необходима силиконовая тампонада, иначе произойдет отслойка. Также не должно быть собственного хрусталика, его следует предварительно заменить искусственным хрусталиком.

Для операции понадобятся специальные инструменты с нежными силиконовыми наконечниками. Это совершенно непростая операция, более того, также необходим лорофациальный хирург или ЛОР-врач - они выводят электроды через кожу. Получается такое устройство – чип внутри глаза, а в руках такое устройство размером с мобильный телефон, с помощью которого можно изменять интенсивность сигнала, оно подключается к подкожным электродам (рис. 4). Одного офтальмолога-

хирурга во время операции недостаточно – необходима помощь из других дисциплин, операция длится долгих 6 часов.



Рисунок 4 – Устройство для поддержания бионического глаза

Экономические аспекты протезирования. Бионический глаз модель Argus II – это дорого. Только устройство стоит около 150 тысяч долларов, то есть почти 8,5 миллиона рублей. Полное лечение одного такого пациента может достигать 10 миллионов рублей. Сегодня в некоторых странах, например, в Германии, эта операция оплачивается страховкой. Фирмы, занимающиеся разработкой и производством по всему миру, живут на государственные субсидии, на гранты. В России пока нет сертификата ни на одно из следующих устройств.

Медицинские аспекты протезирования. Результаты довольно скромные — после операции таких людей нельзя назвать зрячими, они видят максимум 0,05, т. е. могут видеть контуры и определять направление движения тени, вообще не различают цвета, предметы могут отличаться только теми, которые запомнились из прежней “зрячей” жизни, например: “ага — это, наверное, банан, потому что что-то полукруглое”. Они видят, что на них что-то движется, они могут догадаться, что это мужчина, но его лица не различить.

Первыми пациентами являются пациенты с пигментным ретинитом (пигментный ретинит), заболеванием с первичным исчезновением фоторецепторов и вторичной атрофией зрительного нерва. В России

насчитывается 20-30 тысяч таких пациентов, в Германии их всего несколько тысяч.

Следующими на очереди являются пациенты с географической атрофической дегенерацией желтого пятна. Это чрезвычайно распространенная возрастная патология глаза.

Третьими будут пациенты с глаукомой. Глаукома еще не изучена, так как атрофия зрительного нерва в данном случае первична, поэтому способ передачи должен быть другим — в обход зрительного нерва.

Диабет – самая трудная проблема для решения. Одним из методов лечения диабетических изменений на сетчатке является лазерная коагуляция по всей поверхности. После такой процедуры технически невозможно поднять сетчатку из-за коагулянтов - в результате получается “сито”. И если это не сделано лазером, ситуация не лучше: обычно глаз настолько поврежден, что имплантация в этом случае бесполезна.

К сожалению, нынешний прототип бионического глаза не позволяет людям видеть окружающий мир таким, каким мы его видим. Их цель - передвигаться самостоятельно, без посторонней помощи. Однако до массового применения этой технологии еще далеко, и ученые дадут надежду людям, потерявшим зрение.

5. Новейшие проекты бионического глаза

Визуальный протез на основе микросистемы (MVP) была разработана Клодом Вераартом из Университета Лувена в виде спиральной манжеты из электродов вокруг зрительного нерва в задней части глаза. Он соединяется со стимулятором, имплантированным в небольшое отверстие в черепе. Стимулятор получает сигналы от внешней камеры, которые преобразуются в электрические сигналы, непосредственно стимулирующие зрительный нерв.

Имплантируемый миниатюрный телескоп – этот телескоп имплантируется в заднюю камеру глаза и работает как увеличительное стекло, которое увеличивает изображение сетчатки в 2,2 или 2,7 раза, что позволяет уменьшить влияние на зрение крупного рогатого скота (слепые

пятна) в центральной части. Имплантируется только в один глаз, так как наличие телескопа ухудшает периферическое зрение. Второй глаз работает на периферии. Имплантируется через довольно большой разрез роговицы.

Аналогичный принцип используется и в **дополнительных интраокулярных линзах Шарлотта**. В этом случае сначала проводится факоэмульсификация катаракты. Хотя это, конечно, не 100% бионический глаз.

Тюбингенский проект MPDA Alpha IMS. В 1995 году в Университетской глазной клинике Тюбингена началась разработка субретинальных протезов сетчатки. Под сетчатку помещается чип с микрофотодиодами, который воспринимает свет и преобразует его в электрические сигналы, стимулирующие ганглиозные клетки, подобно естественному процессу в фоторецепторах неповрежденной сетчатки.

Сегодня Alpha IMS, производимый компанией Retina Implant AG Германия, имеет 1500 электродов размером 3×3 мм, толщиной 70 микрон. После установки под сетчатку это позволяет почти всем пациентам получить некоторую степень восстановления восприятия света.

Имплантат сетчатки Гарварда/Массачусетского технологического института. Это идея устройства минимально инвазивного беспроводного субретинального нейростимулятора, состоящего из массы электродов, который помещается под сетчатку в субретинальном пространстве и получает сигналы изображения с камеры, установленной на паре очков. Чип-стимулятор декодирует данные изображения с камеры и соответственно стимулирует ганглиозные клетки сетчатки. Протез второго поколения собирает данные и передает их на имплантат через радиочастотные поля от катушки передатчиков, установленных на очках. Вторичная катушка приемника вшита вокруг радужной оболочки.

Искусственная силиконовая сетчатка (ASR). Микрочип, содержащий 3500 фотодиодов, которые обнаруживают свет и преобразуют его в электрические импульсы, стимулирующие здоровые ганглиозные

клетки сетчатки. «Искусственная силиконовая сетчатка» не требует использования внешних устройств. Микрочип ASR представляет собой кремниевый чип диаметром 2 мм (та же концепция, что и в компьютерных чипах) толщиной 25 микрон, содержащий ~ 5000 микроскопических солнечных элементов, называемых «микрофотодиодами», каждый из которых имеет свой собственный стимулирующий электрод.

Фотоэлектрический протез сетчатки, которая также является «бионическим глазом», включает в себя субретинальный фотодиод и систему инфракрасного проекционного изображения, установленную на видеостеклах. Информация с видеокамеры обрабатывается в устройстве и отображается в виде импульсного инфракрасного (850-915 нм) видеоизображения. Инфракрасное изображение проецируется на сетчатку через естественную оптику глаза и активирует фотодиоды в субретинальном имплантате, которые преобразуют свет в импульсный двухфазный электрический ток в каждом пикселе. Интенсивность сигнала может быть дополнительно увеличена за счет увеличения общего напряжения, обеспечиваемого радиочастотным приводом имплантируемого источника питания.

Бионическое видение. Австралийская команда под руководством профессора Энтони Беркитта разрабатывает два протеза сетчатки. Устройство широкого обзора сочетает в себе новые технологии с материалами, которые успешно использовались для других клинических имплантатов. Этот подход включает в себя микрочип с 98 стимулирующими электродами и направлен на повышение мобильности пациентов, чтобы помочь им безопасно ориентироваться в окружающей среде. Этот имплантат будет помещен в супрахориоидальное пространство. Bionic Vision Australia – это имплантат микрочипа с 1024 электродами. Этот имплантат помещается в супрахориоидальное пространство. Каждый прототип состоит из камеры, прикрепленной к паре очков, которая посылает сигнал на имплантированный микрочип, где он преобразуется в электрические импульсы для стимуляции оставшихся здоровых нейронов сетчатки. Затем эта информация передается в

зрительный нерв и центры обработки зрительных сигналов головного мозга.

Глаз Добелли – аналогично функционирует устройство Гарварда/Массачусетского технологического института, за исключением стимулирующей микросхемы, которая имплантируется непосредственно в мозг в первичной зрительной коре, а не на сетчатке. Первые впечатления от имплантата были хорошими [12].

Заключение

На данный момент есть несколько видов протезов, позволяющих восстановить утраченное зрение. Они стимулируют оставшиеся нервы сетчатки, посылая электрические импульсы в мозг, (при наличии в глазу и мозге пациента части живых нервных клеток). Протез не может полностью заменить зрительный орган, однако позволяет индивиду передвигаться самостоятельно.

Операция по вживлению длится долго и требует работы не только офтальмологического хирурга или ЛОР-врача, но и помощи из других дисциплин.

Также необходимы специальные инструменты с нежными силиконовыми наконечниками.

Все это обусловлено сложным строением глаза, однако, новейшие проекты бионического зрения дали положительные результаты.

Литература

1. Бадимова, А.В. Особенности эпидемиологии заболеваемости и инвалидности в связи с болезнями органов зрения в России и за рубежом / А.В. Бадимова // Наука молодых – Eruditio Juvenium. – 2020. – №2. – С.261-266.
2. Галиакберова, З.Р. Развитие офтальмохирургии в России / З.Р. Галиакберова, В.А. Чинарев // Вестник СМУС74. – 2017. – №2 (17). – С. 111-113; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-oftalmohirurgii-v-rossii> (дата обращения: 16.10.2021).
3. Ильина, С.Н. Изменения органа зрения при общих заболеваниях: пособие для студентов по специальности «Лечебное дело» (лечебный факультет и факультет иностранных учащихся с русским языком обучения) и по специальности «Педиатрия»/Ильина С. Н., Кринец Ж. М., Солодовникова Н. Г. – Гродно: ГрГМУ, 2016. – 173 с.

4. Назарян, М.Г. Современные аспекты инвалидности вследствие патологии органа зрения / М.Г. Назарян, П.М. Арбуханова // Казанский мед. журнал. – 2015. – №2. – С.224-226.
5. Офтальмология. Национальное руководство. Краткое издание// под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди – М.: ГОЭТАР-Медиа, 2016. – 736 с.
6. Сапин, М.Р. Анатомия человека: В 2 кн.Кн. 2: Учебное пособие / М.Р. Сапин. - М.: Академия, 2019. - 336 с.
7. Сахнов, С.Н. Анализ распространенности социально-значимых заболеваний глаза – основа рационализации высокотехнологичной офтальмологической службы /С.Н. Сахнов // Оренбургский медицинский вестник. – 2018. – №2 (22). – С.41-47.
8. Федюкович, Н.И. Анатомия и физиология человека. Учебник / Н.И. Федюкович. - Рн/Д: Феникс, 2019. - 479 с.
9. Шлепотина Н.М., Пешикова М.В. Генетические аспекты пигментного ретинита // Вестник СМУС74. 2019. №3 (26). С.48-52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskie-aspekty-pigmentnogo-retinita> (дата обращения: 02.11.2021).
10. Фотоэлектрический протез сетчатки для восстановления зрения при дегенерации сетчатки - Стэнфордский университет. – URL: <https://web.stanford.edu/~palanker/lab/retinalpros.html> (дата обращения: 30.11.2021).
11. Бионический глаз - Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: https://traditio.wiki/Бионический_глаз (дата обращения: 30.11.2021).
12. Клиника офтальмологии доктора Шиловой – Хабр. – URL: https://habr.com/ru/company/klinika_shilovoy/blog/511188/ (дата обращения: 30.11.2021).

АППАРАТ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ: ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РОЛЬ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ

**А.Р. Горбунов, Ф.М. Килимник, М.М. Маслова, А.В. Кузнецов,
Я.И. Янкевич (ред. Ю.С. Данилкина)**

В данной статье рассматривается вклад ученых в развитие искусственного кровообращения (ИК), проводится обзор первых операций, проведенных с применением аппарата искусственного кровообращения (АИК), описываются методы применения ИК в клинике, принцип работы АИК, требования для его использования, а также анализируются его недостатки. Актуальность выбранной темы объясняется активным применением АИК в современной медицине и необходимостью работы над устранением негативных последствий операций в условиях полного сердечно-легочного обхода на организм.

Введение

Перфузиология — отрасль в медицине, задача которой заключается в обеспечении врачом-перфузиологом искусственного кровообращения при проведении операций на открытом сердце и кровеносных сосудах, для которых необходимо выключение сердца из кровообращения. Начиная с этого момента параллельно с развитием кардиохирургии совершенствовались перфузионные технологии и методики проведения ИК. [1]

Аппарат искусственного кровообращения (АИК) — специальное медицинское оборудование, обеспечивающее жизнедеятельность человека при частичной или полной невозможности выполнения функций сердца и/или лёгких.

АИК широко используется в современной медицине, однако у него присутствуют определённые недостатки. Постоянное развитие техники и технологий побуждает усовершенствование искусственного кровообращения.

1. История развития экстракорпорального кровообращения

Развитие искусственного кровообращения. Первые эксперименты. Старт медицинским экспериментам в этой области положил французский физиолог Жюльен Легаллуа, высказав мысль о возможности «сохранить в живом состоянии любую часть человеческого организма» с помощью искусственного кровообращения.

В 1885 году австрийскими учеными Максимилианом фон Фреем и Максом фон Грубером был разработан ранний прототип аппарата искусственного кровообращения. Однако его применение было невозможно из-за того, что кровь свертывалась.

Прогресс наметился после открытия в 1916 году гепарина — вещества, которое предотвращало свертывание крови.

В 1926 году советские ученые Сергей Брюхоненко и Сергей Чечулин разработали первый аппарат искусственного кровообращения (автожектор), который был успешно применен в экспериментах на собаках.

Основной задачей Чечулин считал доказательство того, что центральная нервная система способна продолжить свою работу в искусственных условиях, не отличающихся в этом отношении от работы других жизненных органов.

Автожектор представлял собой стеклянный резервуар, в который наливалась кровь с антикоагулянтом. Кровь при помощи насосов отсасывалась из вен отсеченной головы собаки и поступала в легочную артерию изолированных легких животного, которые механически раздувались, насыщая кровь кислородом.

После этого кровь возвращалась обратно в резервуар, а оттуда — в крупные кровеносные сосуды головы, обеспечивая кровоснабжение головного мозга. Устройство автожектора обеспечивало автоматическую регуляцию нагнетания и отсасывания крови, а также ее согревания.

Итогом этого эксперимента стало то, что голова, изолированная от остального тела собаки, 3 часа 24 минуты проявляла ряд тонких реакций и функций ЦНС, а именно мигала веками при прикосновении к частям голо-

вы, при слабом дуновении, при зажигании света, происходило выделение слюны, расширились зрачки и т.д. [2]

Несмотря на успехи с животными, в клинической практике устройство автожектора не использовалось.

Сначала С.С. Брюхоненко применял автожектор для оживления организма, у которого зафиксирована клиническая смерть, а потом и при внутрисердечных операциях, которые с 1929 г. проводил совместно с Н.Н. Терebinским.

Первые проведенные операции с использованием аппарата искусственного кровообращения. 3 июля 1952 года в США американский кардиохирург и изобретатель Форест Дьюи Додрилл провёл первую успешную операцию на открытом сердце человека с использованием аппарата искусственного кровообращения Dodrill-GMR. [3]

Аппарат на протяжении почти часовой операции обеспечивал функции левого желудочка сердца у мужчины с недостаточностью митрального клапана.

Но настоящим прорывом стала операция, проведенная в США 6 мая 1953 года, когда американский хирург Джон Гиббон выполнил первую успешную операцию ушивания межпредсердного дефекта на открытом работающем сердце в условиях полного сердечно-легочного обхода. Он использовал полноценную систему обеспечения функций сердца и легких у 18-летней пациентки с сердечной недостаточностью. Произведя разрез в области подмышки, он подключил катетеры к венам и артериям. Спустя всего 26 минут Гиббон закончил операцию и отключил девушку от аппарата.

С момента первой успешной операции на открытом сердце происходило постоянное усовершенствование аппаратов, появление оксигенаторов с минимальными первичными объемами заполнения и внедрение новых биосовместимых материалов. Все это минимизировало неблагоприятное воздействие перфузии на организм.

2. Применение аппарата искусственного кровообращения

Назначением аппаратов искусственного кровообращения является временная замена функции сердца и легких. Исходя из этого, перфузионный аппарат должен содержать два основных узла: устройство для нагнетания артериализированной крови в организм (насос) и устройство для искусственной артериализации крови (оксигенатор). Кроме этих основных узлов, современные аппараты искусственного кровообращения содержат большее или меньшее количество вспомогательных регулирующих и регистрирующих приборов.

В основном аппарат искусственного кровообращения (АИК) применяется в кардиохирургии, при операциях на открытом сердце. Во время оперативного вмешательства сердце не может выполнять свою функцию насоса и ее заменяют механическим перекачиванием оксигенированной крови.

Практическое применение в клинике нашли три основных метода искусственного кровообращения (ИК): общее ИК, регионарное ИК и различные варианты вспомогательного кровообращения.

Общее ИК — наиболее распространенный метод. Он предусматривает полную замену насосной функции сердца и газообменной функции легких механическими устройствами на непродолжительное время. Основной аспект его применения — кардиохирургия.

Регионарное ИК — перфузия отдельного органа или области организма, временно изолированной от остальной сосудистой системы. Применяется главным образом в онкологии и гнойной хирургии для подведения больших концентраций лекарственных веществ непосредственно к очагу поражения. Один из вариантов регионарного ИК — коронарно-каротидная перфузия — используется некоторыми авторами для целей кардиохирургии. В сочетании с умеренной гипотермией позволяет выполнять операции на сердце длительностью до 30 мин. ИК для целей кардиохирургии получило широкое распространение. Во многих клиниках мира практически все операции на сердце выполняются в условиях ИК [4].

3. Проведение искусственного кровообращения

Проведение искусственного кровообращения начинают с одновременного включения артериального насоса и снятия зажимов с венозной линии аппарата, не допуская полного оттока крови из организма (рис.1). Синхронно увеличивая производительность насоса и величину венозного притока, доводят объёмную скорость перфузии до расчётной (2,2-2,4 л/мин на 1 м² поверхности тела). В дальнейшем руководствуются критериями адекватности перфузии.

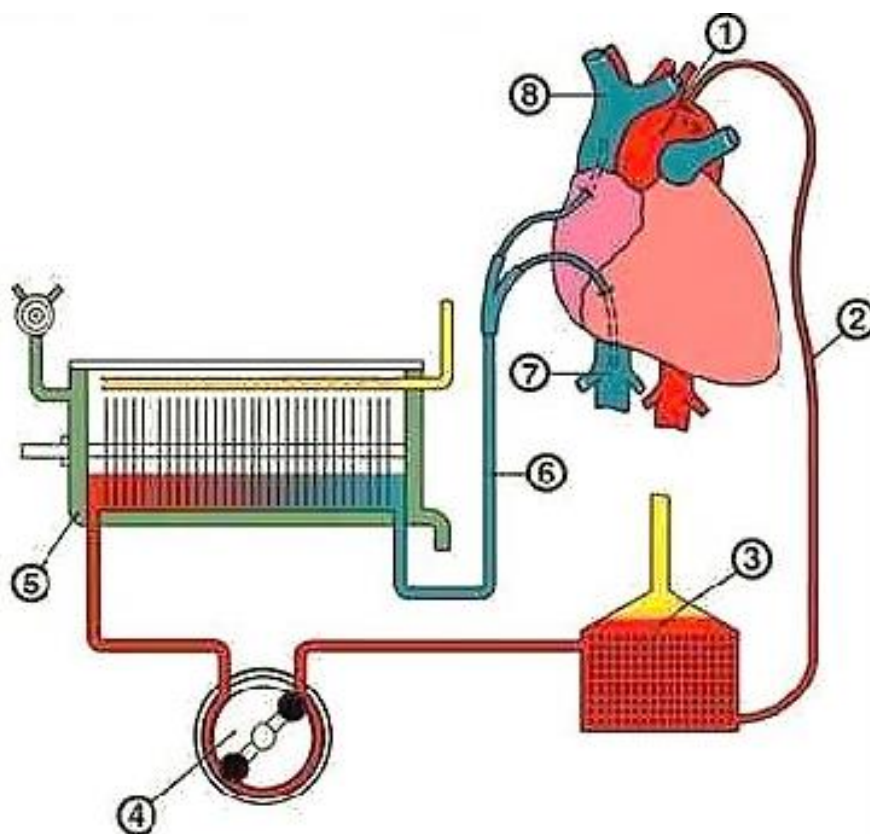


Рисунок 1 – Схема подключения аппарата искусственного кровообращения:
1 – аорта; 2 – артериальная линия; 3 – микрофильтр; 4 – артериальный насос;
5 – оксигенатор; 6 – венозная линия; 7 – нижняя полая вена; 8 – верхняя полая вена

Длительность искусственного кровообращения зависит от характера патологии и колеблется от нескольких минут (ушивание дефекта межпредсердной перегородки, ликвидация изолированного клапанного стеноза лёгочного ствола) до многих часов (одновременное протезирование нескольких клапанов сердца).

Переход на естественное кровообращение начинают с постепенного или одномоментного прекращения поступления крови в аппарат с одновременным уменьшением производительности артериального насоса. Нагнетание крови в артерии полностью прекращают по достижении оптимального объёма циркулирующей крови в сосудистом русле больного, о чём судят по величине центрального венозного давления, которая должна составлять в этот момент 150—180 мм водного столба.

В случае длительного искусственного кровообращения (свыше 1 часа) целесообразно сочетать его с искусственной гипотермией, которая сопровождается снижением потребности организма в кислороде, что позволяет уменьшить объёмную скорость перфузии, а тем самым и травму форменных элементов крови. В большинстве случаев достаточна умеренная гипотермия (температура в пищеводе не ниже 28°). Глубокая гипотермия до 15—10° применяется крайне редко, при необходимости временной полной остановки кровообращения.

Итак, аппарат искусственного кровообращения включает в себя два основных блока – насос («искусственное сердце») и газообменное устройство («искусственные легкие» или оксигенатор). Принцип работы аппарата наглядно представлен на рисунке 2.

При проведении искусственного кровообращения широко применяют метод управляемой гемоделиции, то есть разбавления циркулирующей крови замещающими жидкостями (например, низкомолекулярными растворами электролитов, сахаров или белков).

4. Гипотермическое искусственное кровообращение

К негативным эффектам, за счет которых формируется кислородная задолженность во время гипотермического ИК, следует отнести централизацию кровообращения, повышение вязкости крови и сродства гемоглобина к кислороду за счет сдвига кривой диссоциации влево. При гипотермии снижается также метаболизм катехоламинов, а полная перфузия сопровождается выключением из кровообращения легких, где инактивируются многие гормоны и вазоактивные вещества.

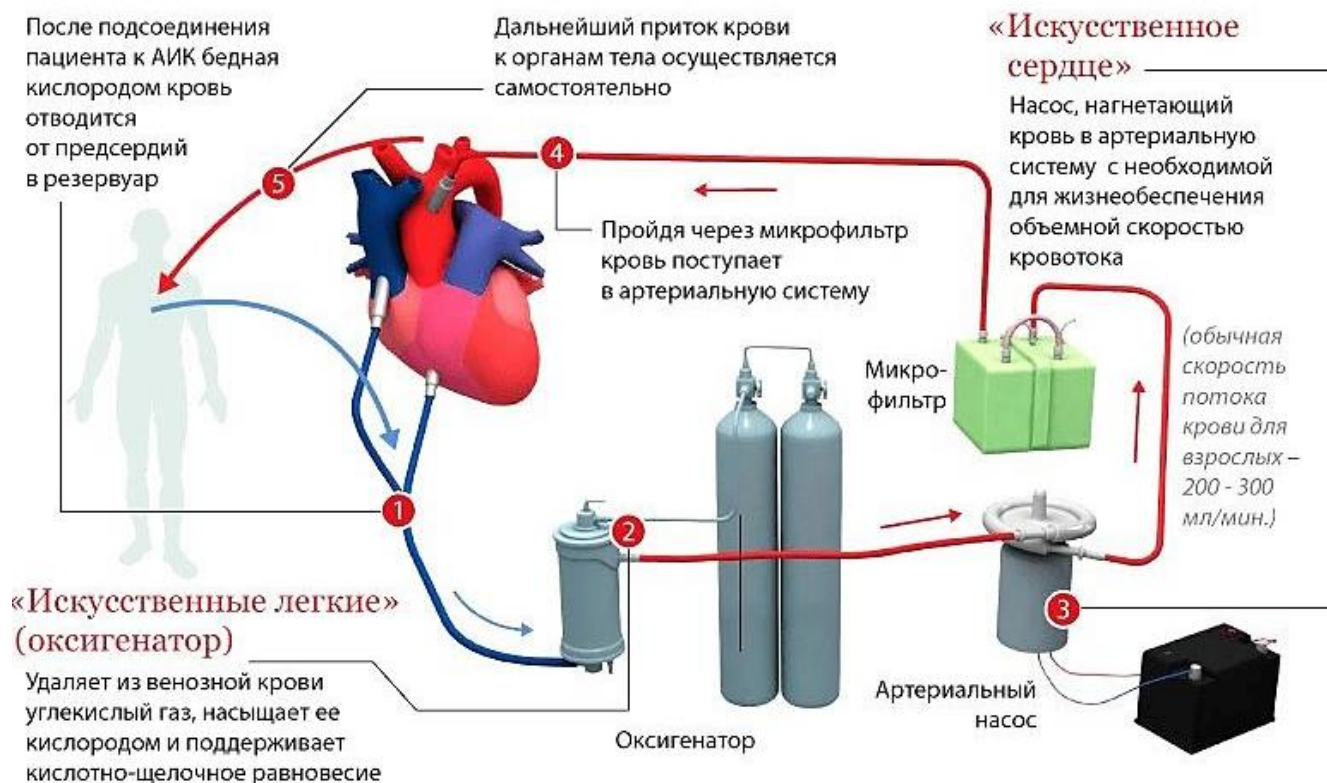


Рисунок 2 – Принцип работы АИК

К дополнительным стрессовым факторам ИК относится также непulsирующий режим кровотока. За все время развития клинической перфузиологии не угасает интерес к методу pulsирующего кровотока. Считается, что он снижает общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), улучшает перфузию тканей, способствует лучшей экстракции кислорода, уменьшает высвобождение стрессорных гормонов, благотворно влияет на почечный и мозговой кровоток. И действительно, чем ближе ИК к естественному, тем легче оно переносится организмом. Но существуют проблемы технического характера: при применении pulsирующего кровотока с мембранным оксигенатором, расположенным после артериальной помпы, pulsовая волна в значительной мере гасится. Для предотвращения негативных эффектов гипотермии в практику ИК был внедрен метод гемодилюции, положительный эффект которой связан с уменьшением вязкости крови и улучшением микроциркуляции. Недостатки гемодилюции обусловлены снижением КОД, кислородной емкости крови, разбавлением факторов свертывания, тромбоцитов, что в большей степени

актуально для постперфузионного периода. Снижая кислородную емкость крови, гемодилюция приводит к гипердинамическим состояниям при отключении ИК с высокой потребностью в инфузионной терапии. Определение минимально допустимого уровня гематокрита на перфузии привело к большим противоречиям.

5. Недостаток аппарата искусственного кровообращения

Применение аппаратов искусственного кровообращения в кардиохирургии стало на сегодняшний день достаточно распространенной практикой. Но, несмотря на накопленный клинический опыт, этот метод остается небезопасным. Главным образом это связано с применением донорской крови. В результате её использования возникают различные осложнения, для устранения которых многие исследователи искали альтернативные растворы для первичного заполнения аппарата искусственного кровообращения (АИК). Также немаловажную роль в развитии осложнений в послеоперационный период играют физиологические, технические, хирургические и деонтологические аспекты.

К факторам ИК, негативно воздействующим на организм, относят:

- 1) контактную активацию системного воспаления и гемостаза;
- 2) механическую травму форменных элементов;
- 3) гипероксию;
- 4) гипотермию;
- 5) неппульсирующий кровоток;
- 6) гемодилюцию.

Согласно современным представлениям, осложнения после операций на сердце связаны с развитием синдрома системной воспалительной реакции (ССВР) на комплекс воздействий при кардиохирургическом вмешательстве.

Обусловленная контактной активацией, гипотермией, хирургической и механической травмой тромбоцитарная дисфункция и тромбоцитопения рассматривается как одна из главных причин коагулопатии и геморрагии после операций с ИК.

Новорожденные и дети первого года жизни наиболее подвержены негативным влияниям переливания крови, это связано с морфофункциональными особенностями молодого организма и незрелостью иммунной системы. [1]

С течением времени аппараты искусственного кровообращения постоянно модифицировались, появились дополнительные устройства, позволяющие минимизировать повреждающее действие на организм, такие как оксигенаторы, экстракорпоральные контуры с минимальным первичным объемом заполнения, изготавливаемые из биосовместимых материалов.

Достижением перфузионных технологий усовершенствованные оксигенаторы, которые минимально травмируют форменные элементы и белки крови, а также обеспечивают оптимальный газовый состав.

Но, несмотря на все достижения кардиохирургии в этом направлении до сих пор высок риск послеоперационных осложнений, так как эта процедура расстраивает все звенья гомеостаза.

6. Требования для использования АИК

Пациентом современной кардиохирургической клиники всё чаще становится человек, находящийся в очень тяжелом состоянии: новорожденный, ребёнок с малым весом или тяжелым врожденным пороком сердца или же взрослый, подвергающийся повторному хирургическому вмешательству или имеющий сопутствующие патологии.

К современному АИК (рис. 3) для общего ИК предъявляют следующие основные требования:

1) аппарат должен надежно поддерживать на протяжении всей перфузии заданный минутный объем кровообращения в организме (порядка 4—5 л для взрослого больного) и заданную температуру циркулирующей крови;

2) оксигенатор должен обеспечивать адекватную артериализации крови: насыщение ее кислородом не ниже чем до 95% и поддержание давления CO₂ на уровне 35—45 мм рт. ст.;



Рисунок 3 – Современный АИК

3) объем заполнения АИК должен быть небольшим (не более 3 л при перфузии взрослых больных);

4) аппарат должен быть снабжен устройством для возврата в циркуляторный контур крови, изливающейся из вскрытых полостей сердца и поврежденных тканей;

5) травма крови в аппарате должна быть минимальной (не более 40 мг% свободного гемоглобина плазмы за первый час перфузии);

6) физиологический блок АИК должен изготавливаться из нетоксичного материала, химически инертного по отношению к крови; его конструкция должна обеспечивать возможность очистки и стерилизации в условиях клиники. [5].

Заключение

Идея об искусственном кровообращении появилась еще в далекие 1880-е года. Но развивается она и по сей день. Аппарат искусственного кровообращения активно используется в современной медицине при операциях на сердце, когда необходимо искусственным образом запустить циркуляцию крови в организме при выводе из строя сердца. К применению технологии искусственного кровообращения допускаются лица любого возраста, у которых видны патологии сердца, требующие оперативного вмешательства. Над негативными последствиями операций, вызывающими осложнения в организме, работают современные ученые, прогресс которых виден в появлении дополнительных устройств, позволяющих минимизировать повреждающее действие на организм. Несмотря на негативный фактор, аппарат искусственного кровообращения является одним из важнейших приборов для проведения хирургических операций.

Литература

1. Аверина, Т.Б. Искусственное кровообращение. С. 5-12. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennoe-krovoobraschenie> (дата обращения: 05.10.21)
2. Салькова Анна. Искусственное сердце: качать — не перекачать// Газета.Ru. – 2018 [Электронный ресурс]: https://www.gazeta.ru/science/2018/05/06_a_11741593.shtml?updated (дата обращения: 05.10.21)
3. Википедия [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Аппарат_искусственного_кровообращения (дата обращения: 05.10.21)
4. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ) / ред. Петровский Б.В – том 9; издание 3-е.
5. Основные требования, предъявляемые для АИК [Электронный ресурс]: <https://education-club.ru/work/6856782/osnovnye-trebovania-pred-avlaemye-dla> (дата обращения: 05.10.21).

АППАРАТЫ ЛУЧЕВОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Д.С. Новикова, А.М. Темп, И.А. Сабиров, Н.С. Локтев (ред. Н.И. Исакова)

В данной работе раскрывается тема изучения аппаратов лучевого принципа действия. Актуальность темы заключается в том, что рассматриваемые системы имеют большой спрос в области медицины, поэтому каждый пациент должен знать, как именно врачи проводят диагностики и процесс лечения. Основная цель работы - рассказать о том, что из себя представляют аппараты с лучевым принципом действия, каких видов они бывают, на чем основаны их принципы работы. А также рассмотреть основные перспективы дальнейшего развития в данной области медицины.

Введение

В постепенно развивающемся мире многие методы исследований, проводимых в области медицины, утрачивают со временем свою актуальность. Ученые всего мира ищут новые способы исследования человеческого организма для диагностики и лечения различных заболеваний. С появлением многих открытий в областях физики, химии, математики и других точных наук, в процессе исследования методов лучевого воздействия, ученым удалось создать аппараты лучевого принципа действия. Благодаря современному прогрессу, такие аппараты становятся существенно более точными, эффективными и безопасными, что способствует их широкому распространению по всему миру.

Аппараты лучевого принципа действия используют во многих областях медицины для различных целей, к которым можно отнести диагностику заболеваний, динамику контроля их развития и лечение. В связи с этим, данные аппараты можно разделить на категории:

- Ультразвуковые аппараты;
- Рентгеновские системы;
- Компьютерные томографы;
- Радиохимию.

1. Ультразвуковые аппараты

Ультразвуковые сканеры – это аппараты, относящиеся к медицинскому оборудованию и работающие на ультразвуковых волнах, то есть на звуковых волнах, имеющих высокую частоту.

История появления диагностики, основанной на использовании ультразвука. В 1876 году высокочастотный сигнал, не слышимый человеческим ухом, был сгенерирован английским ученым Ф. Галтоном. Чуть позже, в 1880 году братья Пьер и Жак Кюри открыли пьезоэлектрический эффект. Первая рабочая гидролокационная УЗ-система SOUNd Navigation And Ranging (SONAR) была сконструирована в США в 1914 г. Прародителем медицинского УЗИ была система RAdio Detection And Ranging (RADAR), изобретенная в 1935 г. британским физиком Робертом Уотсоном- Уоттом. Впервые в медицине УЗ начали применять в качестве метода лечения в конце 20-х – начале 30-х годов. В 40-х их использовали с целью облегчения боли при артритах, язвенной болезни желудка, в лечении экземы, астмы, тиреотоксикоза, элифантиаза и даже стенокардии. Применение УЗ в качестве диагностического метода обнаружения опухолей, экссудатов и абсцессов в 1940 г. впервые предложили немецкие клиницисты Х. Гор и Т. Ведекинд. В 1977 г. было основано Британское медицинское общество ультразвука. Таким образом, с конца 50-х годов прошлого века в разных странах – США, Германии, Великобритании, Австралии, Японии – начали проводиться исследования по возможности применения УЗ с целью диагностики заболеваний. В основе их проведения использовались принципы гидролокации (А-режим УЗ-волн) и радиолокации (В-режим) [2].

Описание работы систем. Принцип действия системы основан на эхолокации: датчик, который располагается на коже пациента, является одновременно и излучателем, и приемником ультразвука.

Работа современных преобразователей ультразвука основана на пьезоэлектрическом эффекте. Именно он делает возможным использование отраженного эхосигнала ультразвуковым прибором. Ультразвук, излучаемый в виде коротких импульсов, испускается кристаллом. Природа пьезоэлектриков позволяет генерировать звук высокой частоты под воздей-

ствием электрического напряжения, чем выше частота напряжения, тем быстрее (чаще) начинает вибрировать кристалл, возбуждая высокочастотные колебания в окружающей среде. На датчике содержится пьезоэлектрическая головка. С ее помощью датчик преобразует электрическую энергию в энергию ультразвуковых колебаний. Выйдя из датчика, через акустическую линзу, сделанную из особых материалов, и через согласующий гель ультразвуковая волна попадает в тело пациента. При прохождении через любую среду будет наблюдаться уменьшение амплитуды и интенсивности ультразвукового сигнала, которое называется затуханием. Затухание ультразвукового сигнала вызывается поглощением, отражением и рассеиванием. Ультразвук, выйдя из датчика, проникает через кожу и отражается в той или иной степени от органов пациента, в зависимости от их плотности. При этом эхосигналы не появляются, если нет различий в акустической плотности граничащих сред: гомогенные жидкости (кровь, желчь, моча и содержимое кист, а также асцитическая жидкость и плевральный выпот) выглядят как эхонегативные (черные) структуры, например, желчный пузырь и печеночные сосуды. Далее отраженные звуковые волны, как эхо, возвращаются обратно к датчику. Они в обратном порядке преобразуются кристаллами в электрические импульсы и используются затем компьютером для построения сонографического изображения [3].

Процессор УЗ аппарата рассчитывает глубину, на которой возникло эхо, путем регистрации разницы времени между моментами излучения акустической волны и получения эхосигнала. Эхосигналы от тканей, лежащих рядом с датчиком, возвращаются раньше, чем от тканей, лежащих на глубине.

В случае если длина волны сопоставима с неровностями отражающей поверхности происходит рассеивание ультразвука. Оно относительно мало зависит от направления падающего луча и, следовательно, позволяет лучше визуализировать отражающие поверхности, не говоря уже о паренхиме органов. Для того, чтобы отраженный сигнал был правильно расположен на экране, необходимо знать не только направление излученного

сигнала, но и расстояние до отражателя. В то же время, перед тем как вернуться к датчику, эхо может отражаться несколько раз назад и вперед, что занимает время движения, не соответствующее расстоянию до места его возникновения. Процессор УЗ аппарата ошибочно может располагать эти реверберационные сигналы в более глубоком слое [5].

Существует большая классификация медицинских аппаратов, использующих ультразвуковые сигналы, в их число входят:

- ультразвуковые сканеры,
- УЗИ-аппараты со спектральным доплером,
- ультразвуковые системы с цветовым доплеровским картированием,
- эхоофтальмометры,
- эхоэнцефалоскопы,
- синускопы и другие.

Ультразвуковой сканер. Основателем диагностического УЗИ считается австрийский невролог, психиатр Карл Дуссик, впервые применивший УЗИ с диагностической целью в 1947 году. Он рассмотрел опухоль мозга, учитывая интенсивность, с которой ультразвуковая волна проходила сквозь череп пациента.

Сердцем современных сонографических комплексов является главный генератор импульсов (в современных аппаратах — мощный процессор), который управляет всеми системами ультразвукового прибора. Генератор импульсов посылает электрические импульсы на трансдюсер, который генерирует ультразвуковой импульс и направляет его в ткани. Одноэлементный трансдюсер в форме диска в режиме непрерывного излучения образует ультразвуковое поле, форма которого меняется в зависимости от расстояния. В ряде случаев могут наблюдаться дополнительные ультразвуковые "потoki", получившие названия боковых лепестков.

Ультразвуковые датчики представляют собой сложные устройства, работа которых основана на пьезоэлектрическом эффекте, они воспринимают испускаемый и полученный отраженный сигнал. В зависимости от способа развертки изображения, они делятся на датчики для приборов

медленного и быстрого сканирования. Электронные датчики являются многоэлементными и в зависимости от формы получаемого изображения могут быть секторными, линейными, конвексными (выпуклыми). Развертка изображения в секторном датчике достигается за счет качания ультразвукового луча с его одновременной фокусировкой [6].

Существуют различные способы фокусировки ультразвукового луча. Наиболее простым способом фокусировки является акустическая линза. С ее помощью можно сфокусировать ультразвуковой луч на определенной глубине, которая зависит от кривизны линзы. Данный способ фокусировки не позволяет оперативно изменять фокусные расстояния, что неудобно в практической работе.

Другим способом фокусировки является использование акустического зеркала. В этом случае, изменяя расстояние между зеркалом и трансдьюсером, мы будем менять фокусное расстояние. После отражения от различных тканей, ультразвуковой сигнал возвращается через датчики, которые улавливают его, на трансдьюсер, который в свою очередь преобразует данный сигнал в электрический. Эти электрические колебания далее направляются на радиочастотный усилитель, к которому обычно подключается временно-амплитудный регулятор усиления (ВАРУ, регулятор компенсации тканевого поглощения по глубине). При сканировании ультразвуковым лучом результат каждого полного прохода луча называется кадром. Кадр формируется из большого количества вертикальных линий. Каждая линия — это как минимум один ультразвуковой импульс. Ввиду того, что затухание ультразвукового сигнала в тканях происходит по экспоненциальному закону, яркость объектов на экране с увеличением глубины прогрессивно падает. Использование логарифмических усилителей позволяет решить эту проблему. Таким образом, применение ВАРУ позволяет получить на экране изображение одинаковой яркости по глубине. Усиленный таким образом радиочастотный электрический сигнал подается затем на демодулятор, где он выпрямляется и фильтруется и еще раз усиленный на видеоусилителе подается на экран монитора [1].

Для сохранения изображения на экране монитора необходима видеопамять. Устройство, называемое дискриминатором, позволяет изменять порог дискриминации — сигналы, интенсивность которых ниже порога дискриминации, не проходят через него и соответствующие участки экрана остаются темными. Сигналы, интенсивность которых превышает порог дискриминации, представляются на экране в виде белых точек. Такой способ представления изображения называется "бистабильный", однако оценить структуру паренхиматозных органов не представлялось возможным. Датчик перемещается вдоль поверхности тела пациента вручную, то есть происходит перемещение линии сканирования вдоль плоскости сканирования для получения двухмерного томографического изображения.

Ультразвуковой метод исследования позволяет получать не только информацию о структурном состоянии органов и тканей, но и характеризовать потоки в сосудах. В основе этой способности лежит эффект Доплера — изменение частоты принимаемого звука при движении относительно среды источника или приемника звука, или тела, рассеивающего звук. Путем сопоставления исходной частоты ультразвука с измененной возможно определить доплеровские сдвиги. Для получения доплеровской информации применяются два типа устройств — постоянно-волновые и импульсные. В постоянно-волновом доплеровском приборе датчик состоит из двух трансдюсеров: один из них постоянно излучает ультразвук, другой постоянно принимает отраженные сигналы. Приемник определяет доплеровский сдвиг и передает сигнал на монитор для качественной и количественной оценки кривой. Получение доплеровского спектра позволяет оценивать кровотоки в очень небольшом участке. Цветовая визуализация потоков (цветовое доплеровское картирование) позволяет получать двумерную информацию о кровотоках в реальном времени в дополнение к обычной серошкальной двумерной визуализации [4].

Контроль качества ультразвукового оборудования включает в себя определение относительной чувствительности системы, осевой и боковой разрешающей способностей, мертвой зоны, правильности работы измери-

теля расстояния, точности регистрации, правильности работы ВАРУ, определение динамическую диапазона серой шкалы и т.д. Для контроля качества работы ультразвуковых приборов используются специальные тест-объекты или тканево-эквивалентные фантомы. Противопоказаний к применению УЗИ нет. Однако к показаниям к применению можно отнести:

- Системные заболевания;
- Боли и неприятные ощущения в различных областях;
- Выявление любых образований;
- Профилактическую цель;
- Динамический контроль выявленных заболеваний и др.

Для стабильной работы УЗ сканера необходимо следовать требованиям: Полная функциональность и работоспособность сканера, его целостность, температура в помещении в пределах от 18 до 23 градусов Цельсия, относительная влажность около 60%. Необходимо следить за степенью запыленности аппарата, должен присутствовать источник бесперебойного питания, ИБП должен быть с двойным преобразованием, с искажением выходного напряжения не более 3%.

Перспективы развития. Представляется перспективным дальнейшее совершенствование доплеровских методик, особенно таких, как энергетический доплер, доплеровская цветовая визуализация тканей. При энергетическом доплере определяется не значение доплеровского сдвига в отраженном сигнале, а его энергия. Такой подход позволяет повысить чувствительность метода к низким скоростям, сделать её почти независимой от угла падения, правда, ценой потери возможности определения абсолютного значения скорости и направления потока. В будущем может стать весьма важным направлением ультразвуковой диагностики трехмерная эхография. Использование ультратонких датчиков при внутриполостной эхографии открывает новые возможности для исследования полых органов и структур. В то же время, широкое применение этой методики ограничивается высокой стоимостью специализированных датчиков, которые к тому же могут применяться для исследования ограниченное число раз. Весьма перспективным направлением объективизации по-

лучаемой информации при УЗИ является компьютерная обработка изображений. В этом случае появляется возможность улучшить точность диагностики незначительных структурных изменений в паренхиматозных органах [5].

2. Рентгеновский аппарат

Рентгеновский аппарат – это оборудование, которое используется в медицине для получения аналитических данных состояния пациента при помощи рентгеновского излучения.

История появления рентгенографии. В 1895 году Вильгельм Рентген при проведении экспериментов с вакуумной катодно-лучевой трубкой впервые обнаружил проникающее излучение, которому дал название X-лучей. Первым рентгеновским изображением был снимок руки его жены, и уже 18 января 1896 г. первая рентгеновская машина была представлена Х. Смитом, а через пару месяцев Томас Эдисон собрал удобный демонстрационный аппарат и показывал чудеса рентгена публике. Практически тогда же, в 1896 году, появилась возможность использования рентгеновских лучей и в медицинской сфере, был сделан первый рентгеновский снимок медицинского назначения - сломанная кисть Эдди МакКарти, пациента профессора Эдвина Фроста [7].

Описание работы систем. Несмотря на схожесть элементов в рентгеновских аппаратах, они могут иметь различный размер, быть по-разному укомплектованными и выполнять различные наборы функций.

Рентгеновский луч - это специальная форма света, которая не воспринимается человеческим глазом, а рентгеновский аппарат излучает пучок рентгеновских лучей и после прохождения их через тело, стоящее на пути, «ловит» их с обратной стороны и создает изображение тела, для удобного излучения [8]. Конструктивно рентген состоит из:

- питающего устройства (генератора), которое предназначено для регулирования радиационных параметров (регулируется ток рентгеновской трубки) и обеспечения электроэнергией;
- одна или несколько трубочек-излучателей;

- штативов, с помощью которых можно управлять аппаратом;
- устройства, которое преобразует рентгеновское излучение в видимое изображение, доступное человеческому глазу.

Снаружи аппарат надежно защищен корпусом из свинца. Этот материал отлично поглощает рентгеновские лучи, что позволяет обеспечить безопасность медицинского персонала и точно направить лучи на объект исследования.

Принцип работы рентгеновского аппарата основывается на подведении напряжения к пульту управления, откуда, после регулировки, напряжение передается на главный трансформатор. Затем возросшее напряжение достигает рентгеновской трубки, и происходит излучение. На основании степени поглощения формируется изображение, которое можно вывести на монитор или на специальную пленку. При необходимости вводится контрастная субстанция, позволяющая получить более четкое изображение. Лучи проходят через кожный покров и в разной степени поглощаются мышечной и костной тканью. Больше всего рентгеновские лучи поглощает кальций, входящий в состав костей. Поэтому кости на снимке ярко-белого цвета. Соединительные ткани, мышцы, жир и жидкость не так интенсивно поглощают лучи, поэтому на изображении они имеют оттенки серого цвета. Меньше всего рентгеновские лучи поглощает воздух. Поэтому содержащие его полости будут на изображении самыми темными [15].

В зависимости от условий эксплуатации рентгеновские аппараты делят на:

- стационарные - используются в специальных рентгеновских кабинетах;
- дентальные, переносимые, импульсные;
- перевозимые к месту назначения на специальных автомобилях;
- передвижные - предназначены для работы в палатах, травматологических и операционных отделениях, на дому.

В зависимости от области применения различают:

- дентальные аппараты;

- аппараты для урологических исследований;
- для ангиографии;
- нейрорентгенодиагностики;

Формирование рентгеновского изображения.

Из 100% рентгеновских лучей, которые попадают на тело человека, только 1% выходит обратно. Этот 1% используется для получения снимка.

Полученный снимок отражается на специальной пластине, которая называется рентгеновской пленкой. Оставшиеся 99% либо рассеиваются, либо же поглощаются организмом человека.

Отражаемый телом световой фон, как правило, затухает случайным образом. В том случае, когда поток доходит до пластины рентгена, он затеняется. Для предотвращения попадания потока используется специальная сетка против рассеивания. Данная сетка похожа на частично закрытые жалюзи. После того, как поток проходит сетку, он попадает на пластину. Её работа похожа на работу пленки. За последние годы, значительно улучшилось качество разрабатываемых пластин. В настоящее время, необходимая четкость на пластинах получается даже при низком уровне облучения [8].

Технические требования к рентгеновскому аппарату.

Рентгенологические установки работают от однофазной или трехфазной сети с напряжением 220-380 В. Переносные или передвижные установки могут питаться от специальных источников. Мощность приборов бывает разной. Чем она выше, тем более продолжительно и информативно исследование. Золотым стандартом считается устройство с мощностью 50 кВт. Также среди технических характеристик рентгеновских аппаратов стоит отметить:

- Параметры фокусов рентгеновской трубки. У современных установок трубки имеют два фокуса.
- Теплоемкость анода. Данный параметр влияет на ресурсоёмкость системы. Идеальным считается максимальное значение теплоемкости.

- Допустимую нагрузку. В стационарных агрегатах максимальная нагрузка на стол должна составлять минимум 200 кг. Но встречаются модели оборудования с допустимой нагрузкой в 290-300 кг.

- Функциональность стола. Некоторые модели агрегатов оснащаются столами с функцией «лифт». Это позволяет менять высоту горизонтальной поверхности в пределах 500-850 мм.

- Крепление рентгеновской трубки. Такая деталь может фиксироваться на полотке или специальном напольном штативе. Вторым вариантом благодаря его простоте максимально распространен [16].

Флюорограф. Флюорография – рентгенологическое исследование, заключающееся в фотографировании видимого изображения на флуоресцентном экране, которое образуется в результате прохождения рентгеновских лучей через тело человека [8]. Стандартной процедурой является фотографирование грудной клетки. Результаты исследований используются для выявления заболеваний легких, сердца, грудных желёз. С помощью флюорографии могут быть обнаружены:

- опухоли;
- участки воспаления (в случае распространения воспаления на значительный объем ткани);
- полости, представляющие собой патологические образования, - например, кисты, каверны, абсцессы (флюорография позволяет также определить, чем заполнена такая полость – жидкостью или газами);
- склероз (замена нормальной ткани органов соединительной тканью);
- фиброз (уплотнения и рубцовые образования соединительной ткани);
- инородные предметы.

Помимо того, что флюорография легких позволяет выявить злокачественную опухоль или туберкулез ещё на ранних стадиях, когда симптомы заболеваний еще не проявляются и диагностика болезни затруднительна. Также флюорография очень актуальна в последние 2 года, поскольку ис-

следование легких необходимо для предотвращения осложнений заболеваний на фоне коронавируса [10].

Нахождение таких заболеваний обеспечивает флюорограф. Флюорографы делятся на пленочные и цифровые аппараты. Пленочный флюорограф требует специальную пленку и проявку ее в лабораторных условиях, что занимает дополнительное время, чтобы получить окончательный результат исследования. В отличие от пленочных, цифровые флюорографы работают в режиме реального времени и выдают снимки практически мгновенно. При большом количестве снимков, их можно паковать в архив, что дает возможность в любое время анализировать прогресс или регресс в течение заболевания. Принцип работы цифрового флюорографа заключается в прохождении лучей рентгена через исследуемую поверхность тела пациента и отражение их на переизлучающем экране, где и происходит преобразование в «картинку». Сигналы распознаются электронной системой и выдаются на дисплей монитора в виде цифровой фотографии. Для корректной работы цифрового флюорографа необходимо программное обеспечение, архивные диски, термобумага для принтеров и картриджи. Цифровые флюорографы делятся на матричные и сканирующие. Их отличие состоит во временных рамках исследования. Матричные флюорографы проводят экспозицию за сотые доли секунды, что очень важно, когда пациент по той или иной причине не может задержать дыхание даже на непродолжительное время. Моментальное фото грудной клетки матричного флюорографа получается очень качественное, потому что на него не влияют пульсирующие движения сердца, аорты, крупных кровеносных сосудов. Сканирующие флюорографы проводят экспозицию более длительно (5—10 секунд), передавая с детектора на монитор от 1 до десятков тысяч полученных элементов. В конце электронные системы обрабатывают информацию и формируют из нее цифровое фото. Пропускная способность такого аппарата достаточно низкая. Современные флюорографы (как цифровые, так и пленочные) имеют минимальную допустимую дозу облучения [11].

Отличие флюорографии от рентгенографии.

Рентгенография позволяет получить более точную картину. Однако в некоторых случаях флюорография предпочтительней. Если подозрительных симптомов не наблюдается и необходимо только получить подтверждение отсутствия заболеваний, целесообразно сделать именно флюорографию. Вот два главных ее преимущества по сравнению с рентгенографией:

- минимальные затраты времени;
- цифровая флюорография дает меньшую дозу облучения.

Как часто можно делать флюорографию:

Поскольку исследование связано с облучением, его нельзя делать часто. Современное цифровое флюорографическое оборудование позволяет осуществлять флюорографию без риска для здоровья 1 раз в год. При выявлении случаев туберкулёза в близком окружении исследование назначается один раз в шесть месяцев. При подобной частоте исследования превышения допустимых доз облучения также не происходит.

Перспективы развития рентгеновских аппаратов. Некоторое время назад во всех рентген-кабинетах обязательно присутствовала фотолаборатория для проявки пленочных снимков. Сейчас это необязательно — на смену привычному аналоговому оборудованию постепенно приходят современные цифровые рентгеновские аппараты. В настоящее время совершенствуются и удешевляются устройства для цифровой рентгенографии с помощью стимулированных люминофоров (люминофор – вещество, способное преобразовывать поглощаемую им энергию в световое излучение) (называемые *computed radiography – CR*) известные также как рентгеновский дигитайзер (устройство, предназначенное для оцифровки изображений). Продолжается развитие и совершенствование систем цифровой регистрации, построенных с использованием оптического переноса изображения с люминесцентного экрана на одну или несколько малошумящих матриц. Такая форма регистрации называется *direct digital radiography* – это форма рентгенографии, которая использует чувствительные к рентгеновскому излучению планшеты для прямого сбора данных во время обследования пациента, немедленно передавая их в компь-

ютерную систему без использования промежуточной кассеты. Основных направлений в развитии рентгеновских аппаратов на сегодняшний день четыре [12].

1. Высокая производительность. Благодаря активному внедрению телемедицинских систем, на которое во многом повлияла пандемия, на сегодняшний день значительно выросла производительность и точность рентгенологических исследований. Сейчас диагностическое оборудование подключено к интернету и облачным хранилищам, что позволяет специалистам быстрее обмениваться необходимой информацией. Помимо этого, сегодня за одним аппаратом может работать несколько специалистов одновременно.

2. Искусственный интеллект. Роботизированные помощники пока только входят в медицинскую практику, однако уже скоро они войдут в повседневную жизнь и возьмут часть рутинных функций на себя. С пациентами по-прежнему будут работать живые люди, а искусственный интеллект займется расшифровкой, обработкой и описанием результатов радиологических исследований.

3. Единый радиологический информационный сервис. Пациенту больше не нужно носить с собой все данные, полученные на оборудовании для лучевой диагностики, поскольку все выписки, снимки и прочие медицинские документы сразу поступают на ЕРИС, откуда специалисты могут получить любую нужную информацию.

4. Референс-центры. В задачи таких центров входит формирование общих диагностических протоколов, описание результатов исследования, услуга «второе мнение», а также научные исследования. Благодаря возможности доступа к результатам в режиме онлайн пациентам больше не нужно ехать к специалисту в другой район. Они смогут получить консультацию и экспертное мнение дистанционно. На данный момент, это пилотный проект, в котором принимают участие отделения и кабинеты московских медицинских учреждений, где проводятся различные виды лучевой диагностики. Если спустя несколько месяцев он окажется успешным, то будет развиваться и дальше, в том числе в регионах.

Однако, несмотря на остальные тенденции, основным фактором все равно является внедрение IT-технологий. Вопреки значительным преимуществам цифровых аппаратов, на рынке по-прежнему представлены аналоговые рентгены – на сегодняшний день они популярны благодаря своей более низкой стоимости. Тем не менее с каждым годом цифровых рентгеновских аппаратов становится все больше – однажды цифровое оборудование полностью вытеснит с рынка аналоговое [13].

3. Компьютерные томографы

Компьютерная томография (КТ) — это один из современных методов диагностики различных заболеваний, при котором отсутствует контакт с поверхностью кожи пациента. В основе метода КТ лежит действие рентгеновских лучей. Аппарат вращается вокруг человека и делает несколько снимков, которые затем обрабатываются на компьютере и расшифровываются врачом.

История появления компьютерной томографии. Первые математические алгоритмы для КТ были разработаны в 1917 году австрийским математиком И. Радоном. Физической основой метода является экспоненциальный закон ослабления излучения, который справедлив для чисто поглощающих сред. В рентгеновском диапазоне излучения экспоненциальный закон выполняется с высокой степенью точности, поэтому разработанные математические алгоритмы были впервые применены именно для рентгеновской компьютерной томографии. В 1963 году американский физик А. Кормак повторно (но отличным от Радона способом) решил задачу томографического восстановления, а в 1969 году английский инженер-физик Г. Хаунсфилд из фирмы EMI сконструировал «ЭМИ-сканер» — первый компьютерный рентгеновский томограф, клинические испытания которого прошли в 1971 году, — разработанный только для сканирования головы. Средства на разработку КТ были выделены фирмой EMI, в частности, благодаря высоким доходам, полученным от контракта с группой The Beatles. В 1979 году «за разработку компьютерной томографии» Кормак и

Хаунсфилд были удостоены Нобелевской премии по физиологии или медицине [17]

Описание работы системы. Двумерное плоское изображение состоит из элементов, называемых пикселями, которые имеют форму прямоугольников, а объемное трехмерное изображение – из вокселей (параллелепипедов), каждый из которых обладает определенной степенью поглощения излучения. Степень поглощения зависит от плотности ткани. Чем больше поглощается излучение, тем светлее на томограммах получается объект (костная ткань), чем меньше структуры поглощают излучение, тем темнее получаются на снимке (жидкость, воздух). Полученное под разными углами множество проекций вокселя позволяет вычислить его плотность на основе измеренного ослабления излучения. С увеличением числа проекций для каждого отдельного элемента объема можно точнее рассчитать его плотность, улучшая этим качество снимков. После выполнения расчетов плотности всех вокселей каждый из них усредняется по толщине, проецируется на экран в виде пикселя - срез отображается двумерно.

Для количественной, визуальной оценки плотности структур организма используется шкала Хаунсфилда (шкала денситометрических показателей, HU), которая представляет собой шкалу ослабления рентгеновского излучения по отношению к дистиллированной воде. Для вещества X с линейным коэффициентом ослабления μ_x величина HU рассчитывается по формуле:

$$(\mu_x - \mu_{\text{воды}}) \div (\mu_{\text{воды}} - \mu_{\text{воздуха}}) \times 1000,$$

где $\mu_{\text{воздуха}}$, $\mu_{\text{воды}}$ – линейные коэффициенты ослабления для воздуха и воды при стандартных условиях. Одна единица шкалы Хаунсфилда соответствует 0,1% разницы ослабления излучения между водой и воздухом, или примерно 0,1% коэффициента ослабления воды, т.к. коэффициент ослабления воздуха практически равен 0.

Диапазон единиц шкалы, соответствующих степени ослабления излучения тканями и органами, находится в пределах от -1024 до +3071, т.е. содержит 4096 оттенков серого. Средний показатель шкалы Хаунсфилда –

0 HU – соответствует плотности воды при стандартных значениях температуры и давления. Положительные величины соответствуют костной ткани, мышечной, соединительной, прочим мягким тканям, более плотному веществу (металлу). Обызвествления и кости за счет значительного содержания кальция характеризуются КТ-числами до 2000 HU. Отрицательные значения шкалы Хаунсфилда соответствуют легочной и жировой тканям, воздуху [18].

Поскольку все 4096 оттенков шкалы человеческий глаз не может различить, при просмотре используется окно – ограниченный интервал отображаемой плотности по шкале Хаунсфилда. Каждый вид ткани характеризуется своим диапазоном плотности, следовательно, имеет свое окно. Существуют следующие наборы окон для просмотра структур: брюшная полость, головной мозг, сосуды, позвоночник, синусы, мягкие ткани, толстый кишечник, средостение, печень, легкие, кости, внутренний слуховой канал, дентальные окна. К примеру, окно для исследования мозга обладает диапазоном 24-45 HU, для бесконтрастного исследования печени – диапазон от -60 до 140 HU, для пирамид височной кости -1300/2700 HU, мягких тканей с контрастным усилением -130/270 HU. Если структуры по плотности выходят за нижнюю границу окна, они отображаются черным цветом, при выходе за верхнюю – белым. При исследовании однородных по плотности областей используют узкое окно, если структуры существенно отличаются по плотности, пользуются широкими окнами. Ширина окна отражает диапазон оттенков серого, уровень окна (центр окна) – центр шкалы оттенков серого. Условно можно выделить следующие виды компьютерных томографов (КТ):

- Спиральные – характеризующиеся сокращенным временем диагностики, минимальным уровнем облучения и высоким качеством получаемого изображения.
- Многослойные (МСКТ) – функционирующие с применением двух и более датчиков рентген-излучения. Конструкция их систем позволяет исследовать целую группу внутренних органов за один оборот, отслеживая функции организма практически в режиме онлайн. Это

новейшие устройства, которые присутствуют пока не во всех отечественных клиниках.

- МСКТ-сканеры с двумя рентген-трубками - максимально эффективные в сравнении со спиральными моделями аппараты, высокая стоимость которых доступна, в основном, крупным клиникам.

Спиральная компьютерная томография. Спиральная компьютерная томография представляет собой частный случай компьютерной томографии, особенностью которого является непрерывность вращения рентгеновского излучателя в сочетании с одновременным непрерывным движением стола-транспортера.

Это обеспечивается, прежде всего, специальной конструкцией сканирующей системы, в которой имеется так называемый "slip ring" ("скользящее кольцо"), внутри которого вращение сканирующего устройства происходит лишь в одну сторону. Одновременно с началом вращения рентгеновской трубки начинается движение и стол-транспортер, на котором лежит пациент. Поэтому за один цикл вращения трубка описывает вокруг больного не круг, как при обычной компьютерной томографии, а отрезок спирали.

В случае спиральной компьютерной томографии речь всегда идет не о конкретном томографическом срезе, а о сканировании целиком всей изучаемой области. Определяющими техническими параметрами здесь будут толщина среза и скорость подачи (продвижения) стола-транспортера – т.н. "pitch" ("питч"). Чем больше питч, тем меньше времени будет затрачено на сканирование области, но точность реконструкции изображений будет несколько ниже, чем при небольшом питче [19].

Количество томографических срезов, которые реконструируются из полученного объема информации, может быть произвольным, поскольку при вторичной реконструкции изображений шаг стола можно задавать произвольно. Время исследования в этом случае не зависит от количества срезов и определяется лишь скоростью сканирования одного среза и длиной области сканирования.

Преимущество в скорости сканирования делает спиральную КТ методом выбора в тех случаях, когда исследование надо провести максимально быстро:

- при травмах различных отделов тела и головы;
- при обследовании грудной клетки и живота в случае, когда пациент не в состоянии надолго задержать дыхание;
- при исследовании больных, контакт с которыми затруднен или невозможен;
- при исследовании пациентов с болевым синдромом, если боль возникает или усиливается в лежачем положении.

Спиральная КТ также показана в тех случаях, когда требуется собрать большой объем информации об исследуемой области при относительно невысокой лучевой нагрузке:

- для исследования детей до 12 лет (при наличии строгих медицинских показаний);
- для исследования периферических и центральных сосудов, в том числе — коронарных, сердца, в том числе при повышенной частоте сердечных сокращений;
- для построения точных трехмерных моделей исследуемой области либо получения изображений, реконструированных в иных, чем аксиальная, плоскостях — сагиттальной, фронтальной, косой;
- для проведения виртуальной эндоскопии;
- для проведения виртуальных манипуляций, в том числе операций в целях обучения врачей других специальностей.

Клинических противопоказаний к проведению спиральной КТ не существуют. Ограничением для ее использования может быть наличие в исследуемой области металлических инородных тел, а также аппаратуры жизнеобеспечения, несовместимой по габаритам или подключению с КТ-установкой. Противопоказанием к КТ с усилением рентгеновского изображения является индивидуальная чувствительность к йодсодержащим рентгеноконтрастным веществам [19].

Перспективы развития. Эксперты медицины говорят о том, что, как в случае МРТ или X-лучей, со дня на день следует ожидать очередного «прорыва» в лучевой диагностике, к которому приведет появление уникального метода визуализации, основанного на абсолютно новом физическом принципе. Однако чаще всего новый виток в развитии радиологии происходит в результате совершенствования «старого» метода диагностики. Например, сегодня важную роль стали играть комбинированные системы. Так, ПЭТ системы постепенно вытесняются комбинацией ПЭТ/КТ. За счёт наложения изображений, такие устройства сочетают в себе высокую чувствительность позитронно-эмиссионной томографии и разрешающую способность компьютерной томографии.

Прогресс в МР-томографии осуществляется в области разработки новых программ и аппаратного обеспечения, увеличивающих скорость получения изображений и повышение пространственного разрешения. Новые программы и конструкции матричных радиочастотных катушек дали возможность реализовать одновременный сбор данных от нескольких областей тела, в результате чего значительно сокращается время исследования. Появилась возможность выполнения МРТ в реальном масштабе времени, особенно актуального для исследований сердечно-сосудистой системы, исследований всего тела, исследований, требующих задержки дыхания. Параллельно идёт поиск новых органо-специфичных контрастных средств и веществ, специфичных для различных опухолевых процессов. Вероятнее всего они будут состоять из комплекса — контрастное вещество и агента, тропного к опухолевой ткани. Вероятно, разработка новых контрастных препаратов позволит проводить МРТ диагностику на совершенно ином уровне, по специфичности позволит МРТ конкурировать с ПЭТ [20].

Существует мнение, что следующим шагом в лучевой диагностике будет развитие так называемой молекулярной диагностики, когда станет возможным очень раннее выявление заболеваний на основе обнаружения поражённых клеток или молекул. Теоретически эта цель может быть реализована с помощью радионуклидных методов (таких как позитронно-

эмиссионная томография) и новейших методик МРТ. Так помощью МРТ-микроскопии специалистам исследовательского подразделения IBM удалось задействовать приемы магнитно-резонансной визуализации для исследований на наноуровне. Впервые с помощью MRI удалось визуализировать объекты наномасштаба.

4. Радиохирurgia

Радиохирurgia — это метод высокоточного облучения патологического внутричерепного очага, основываясь на разрушении точно выбранных участков ткани с помощью ионизирующего излучения с применением большой дозы радиации (от 20 до 100 Гр в изоцентре), также, это атравматичный метод разреза кожи, мягких тканей, коагуляции сосудов и кровоточащих поверхностей при помощи радиоволн высокой частоты – 3,8-4,0 МГц. Стереотаксическая радиохирurgia — это метод неинвазивного разрушения внутричерепных тканей или повреждений, которые могут быть недоступны или непригодны для открытой хирургии.

История появления радиохирургии. Первый стереотаксический аппарат был описан в 1908 году Виктором Хорсли и Робертом Кларком. Они использовали Декартовы координаты для определения местоположения структур в мозге, используя костные ориентиры. Основная проблема с системой Хорсли и Кларка заключалась в том, что внутричерепные анатомические структуры значительно различаются у разных людей в их отношении к костным ориентирам черепа, что делает невозможным точное прицеливание. Первое стереотаксическое устройство, основанное на использовании рентгеновской вентрикулографии и достаточно точное для использования на людях, было разработано в 1947 году Эрнестом А. Шпигелем и Генри Т. Вайсисом. Методы визуализации в сочетании с достижениями в области физиологии позволили распознавать отдельные целевые пути: дорсомедиальное ядро для психохирургии, лемнискальная система для боли и экстрапирамидные пути для двигательных расстройств. Несмотря на эти разработки, рамка Шпигеля–Вайсиса, не была лишена недостатков. Десять лет спустя, в 1951 году Л. Лекселл создал термин радиохир-

рургии и область применения, в которой заключалась идея использовать стереотаксическое наведение и рентгеновские лучи в однократной, но достаточно эффективной дозе. В 1968 году появился Гамма-нож, который был установлен в Каролинском институте и состоял из нескольких кобальт-60 радиоактивных источников, помещенных в шлем с центральными каналами для облучения гамма-лучами [21,22].

Описание работы системы. В основе радиохирургии лежит прицельное подведение высокой дозы ионизирующего излучения в границы опухоли. При радиохирургии она настолько высока, что вызывает гибель клеток за один сеанс. Фактически, опухоль перестает существовать в организме (с биологической точки зрения) – после воздействия высокой дозы радиации она превращается в массив клеток, подлежащих “утилизации” естественными процессами в организме.

Ионизирующее излучение — это электромагнитное излучение (излучение частиц), способное производить ионы прямо или косвенно при прохождении через материю. Чем выше частота радиоволны, тем меньше сопротивление биологических тканей электромагнитным полям – до момента, когда проницаемость клеточных мембран удваивается. В радиохирургии чаще всего используется высокоэнергетический диапазон фотона. Лучи фотонной обработки могут быть получены либо из радиоизотопных источников, либо из рентгеногенерирующих установок. В настоящее время кобальт-60 (^{60}Co) является наиболее широко используемым радиоизотопом для радиохирургии.

Эффективность лечения основана на том, сколько энергии излучения откладывается в опухоли по сравнению с энергией, отложенной в окружающих тканях. Осаждение энергии происходит в результате взаимодействия между пучком излучения и человеческим телом на атомном или ядерном уровне. Механизмы действия фотонов на биологическую ткань те же, что и при прохождении рентгеновского излучения через вещество (упругое рассеяние, фотоэффект, комптоновское рассеяние). К ним добавляется механизм образования электрон-позитронных пар (при энергиях выше 1.02 МэВ) и фотоядерных реакций (при энергиях выше 8 МэВ). Когда

фотонная частица взаимодействует в точке внутри среды, на единицу массы выделяется определенное количество энергии, которое называется кинетической энергией падающего луча излучения. Часть этой энергии поглощается в точке взаимодействия, а остальная ее часть рассеивается вокруг. Взаимодействие со средой происходит с вероятностью 99%. Любая фотонная частица теряет часть или всю свою энергию, когда она первоначально взаимодействует со средой, и большая часть потерянной энергии поглощается средой вокруг точки взаимодействия. Рассеянный фотон может перемещаться в любые другие точки, взаимодействовать и накапливать энергию вокруг области взаимодействия. Энергия, поглощенная в единице массы среды при взаимодействии с пучком излучения, называется дозой излучения. Доза в любой точке представляет собой суммирование ядер, умноженных на единицу массы, от всех первичных взаимодействий фотонов. Единица массы чаще всего вычисляется с использованием аналитического выражения механизмов взаимодействия. Каждое распределение дозы обычно отображается в виде линии изодозы, которая состоит из всех точек одного и того же размера, соединенных в линию. Максимальная доза наблюдается в центре мишени, а сильное падение вблизи границ мишени.

В то время как доза излучения, наносимая фотонами, экспоненциально уменьшается с глубиной проникновения, доза, наносимая протонами, увеличивается очень медленно примерно на три четверти своего диапазона перемещения в среде, а затем резко увеличивается, достигнув максимального значения, прежде чем быстро упасть до нуля. Протоны — это положительно заряженные элементарные частицы, которые постоянно теряют энергию и проходят через материю с отклонения под малым углом. Глубина, на которой протоны выделяют максимальную энергию, называется пиком Брэгга. Диапазон протонов 230 МэВ составляет приблизительно 33 см, что достаточно для проникновения в любую часть тела. Типичный диапазон энергий протонов, используемых для радиохирургии, составляет от 70 до 150 МэВ (глубина от 4 до 15 см). Клинические целевые объемы обычно толще, чем ширина пиков Брэгга, поэтому диапазон про-

тонного пучка должен быть модулирован для распространения. Изменяя энергию падающего протонного пучка с помощью переключателя переменного диапазона, пики Брэгга будут “складываться” на разных глубинах. Рассеивающие плёнки или активное сканирование узкого луча с помощью сканирующих магнитов будут рассеивать протонные лучи в поперечном направлении для достижения равномерной интенсивности по целевому объему.

Основными показаниями к проведению радиохирургии являются внутримозговые (метастазы рака, глиомы, гемангиобластомы) и внемозговые (менингиомы, невриномы слухового нерва и других черепно-мозговых нервов, параганглиомы, аденомы гипофиза, хордомы, краниофарингеомы и прочие) опухоли, а также сосудистые мальформации (АВМ, кавернозные ангиомы, дуральные артерио-венозные фистулы), диаметром до 3-3,5 см, не вызывающие значимого сдавления мозга, расположенные в любых частях внутричерепного пространства, чаще в функционально важных, а потому – хирургически недоступных, без неврологических проявлений или с минимальной симптоматикой [21, 22].

Основные технологии радиохирургии:

1. Гамма-нож
2. Кибер-нож
3. Протонная терапия
4. Линейные ускорители
5. Радиохирургия на заряженных частицах

В настоящее время существует два радиохирургических устройства, которые используют источники ^{60}Co , но гамма-нож на сегодняшний день является наиболее широко используемым. Гамма-нож отличается от всех других форм радиохирургии тем, что энергия излучения подается в фиксированную точку, а положение мишени изменяется для создания желаемого объема лечения.

Гамма-нож. Гамма-нож – это аппарат для проведения высокоточного одномоментного облучения различных патологических образований головного мозга.

Гамма-нож был сконструирован Л. Лекселлом и биофизиком Б. Ларсоном в конце 50-х годов 20 века. Клиническая работа с этим аппаратом началась в 1967 году на производственной площадке в Линчепинге, Швеция. В 1975 году в Стокгольме начали использовать модернизированный Гамма-нож для лечения внутричерепных опухолей и сосудистых пороков развития. Вскоре группа Лансфорда представила первую клиническую установку Гамма-ножа с 201 источником в Северной Америке (пятая гамма-установка в мире). Самым первым способом лечения был опробован на небольшой краниофарингиоме в 1967 году в ядерной энергетической установке, где находились источники излучения. Затем, в начале 1968 году, был установлен первый прототип Гамма-блок в больнице Софиахеммет в Стокгольме опробовали этот аппарат на методе лечения гамматаламотомией от неизлечимой боли при раке. Использовались дозы от 160 до 250 Гр.

В основе работы системы Гамма-нож лежат принципы проведения стереотаксических радиохирургических вмешательств, в ходе которых множество пучков лучей, исходящих под разными углами, прицельно фокусируются на небольшом объеме ткани, что обеспечивает безопасную доставку к ним высокой дозы излучения. Современные модели гамма-ножей включают 201 кабельный радиоактивный источник и ^{60}Co , которые сходятся и фокусируются на цели обработки на расстоянии от источника до цели около 40 см [21].

Принцип работы с использованием 201 кабельного источника. Облучение производится с помощью 201 сфокусированного источника. Доза облучения достаточно велика для того, чтобы достичь необходимого эффекта после однократной процедуры (длительность сеанса достигает нескольких часов). Мощное излучение приводит к повреждению ДНК патологических клеток и клеточных мембран, вследствие чего нарушается безудержный рост опухоли. В стенках кровеносных сосудов происходит пролиферация эндотелия (внутреннего слоя сосудистой стенки), вследствие чего просвет их сужается и вовсе закрывается. Таким образом, кардинально изменяется кровоснабжение и, в конечном итоге, опухоль или

АВМ уменьшаются, а в ряде случаев – исчезают через некоторое время. Активность каждого источника составляет около 30 Ки, и ожидается, что ее изменение будет в пределах $\pm 5\%$. При 6000 Ки типичная мощность дозы составляет около 300 кГц/мин в центре сферического водного фантома диаметром 16 см [22].

Принцип работы гамма-ножа с использованием кобальта-60. Когда ^{60}Co подвергается радиоактивному распаду, он испускает бета-частицы и два сильных гамма-излучения, одно с энергией 1,17 МэВ, а другое с энергией 1,33 МэВ. Лечебный луч Гамма-ножа может включать фотоны с энергией, отличной от 1,17 и 1,33 МэВ, потому что некоторые фотоны взаимодействуют с самим ^{60}Co или его капсулирующим материалом и теряют часть этой энергии. Поэтому эффективная энергия Гамма-ножа немного ниже 1,25 МэВ (в среднем 1,17 и 1,33 МэВ). Кобальт-60 в конечном счете распадается до нерадиоактивного никеля. Период полураспада ^{60}Co составляет 5,26 года. В конце 1 периода полураспада остается только 50 % исходного радиоактивного материала. Это означает, что время обработки через 5 лет вдвое больше, чем во время первоначальной установки, и что источник гамма-ножа необходимо заменить через определенный промежуток времени, чтобы избежать длительного времени обработки. Одним из преимуществ геометрии гамма-ножа является то, что, поскольку более низкая изодоза связана с более низкой мощностью дозы, обеспечивается мера защиты нормальной ткани за пределами целевого объема. Это связано с тем, что максимальная мощность дозы определяется уровнем активности гамма-источника. Таким образом, для одного выстрела мощность дозы при 50 % изодоза будет вдвое меньше, чем в центре дозы, и мощность дозы дальше от центра будет пропорционально уменьшаться [2122].

В современных моделях системы Гамма-нож применяются передовые роботизированные технологии, которые корректируют малейшие смещения положения тела пациента, что помогает эффективно облучать все элементы мишени. В большинстве случаев лечение с помощью системы Гамма-нож проводится за один сеанс. Под местной анестезией с помощью четырех винтов радиолог фиксирует к голове пациента специальную

жесткую каркасную рамку со встроенной трехмерной координатной системой. Врачи (онколог-радиолог и нейрохирург) и медицинские физики выявляют границы патологического очага и здоровых анатомических образований. С помощью компьютерных программ специалисты определяют точные взаимоотношения между мишенью, здоровыми тканями и фиксирующей каркасной рамкой, что позволяет рассчитать параметры работы системы Гамма-нож. Наилучшее облучение опухоли во время сеанса достигается при помощи нескольких последовательных наводок пучка лучей. При этом для разработки оптимального плана лечения и подбора дозы на этапе планирования врачи и физики обычно перебирают множество комбинацией параметров излучения. После определения точных трехмерных координат каркасная конструкция прочно фиксируется к аппарату Гамма-нож. Это позволяет убедиться в том, что орган-мишень находится точно в центре схождения примерно 200 пучков лучей. Процесс облучения не сопровождается какими-либо неприятными ощущениями. После окончания сеанса фиксирующая рамка снимается, и пациенту разрешается вернуться домой [23].

Показания для радиохирургии «Гамма-ножом»:

1. Все доброкачественные опухоли головного мозга.
2. Невриномы слухового нерва и других черепно-мозговых нервов.
3. Менингиомы любой локализации.
4. Опухоли шишковидной железы.
5. Опухоли гипофиза.
6. Метастазы рака в головной мозг (до 10).
7. Артериовенозные мальформации и кавернозные ангиомы.
8. Первичные внутримозговые опухоли (от I до IV степени злокачественности) - при возникновении продолженного роста после проведенного хирургического лечения, лучевой терапии и химиотерапии.
9. Невралгия тройничного нерва.

На сегодняшний день «Гамма-нож» является «золотым» стандартом радиохирургии в нейрохирургической практике, ввиду своей высокой

точности. Погрешность облучения на Гамма-ноже не превышает 0,5 мм. Такая точность облучения не доступна на сегодняшний день другим радиохирургическим установкам, созданным на основе линейных ускорителей.

Перспективы развития радиохирургии. Радиохирургия на протяжении уже многих десятилетий остается одним из ведущих методов лечения злокачественных новообразований. Лучевая терапия проводится сегодня в 125 специализированных радиотерапевтических отделениях онкологических диспансеров, медицинских научно-исследовательских центров и институтов.

Прежде небогатые развивающиеся государства, такие как Китай, Индия и Турция, в нынешнем веке перешли к массовому развитию высокотехнологичной медицины. В то же время и в некоторых других странах появились экономические механизмы, обеспечивающие расширение, повышение доступности ядерной медицины: включение услуг в этой области в базовые медицинские страховки, а также развитие всевозможных государственных и негосударственных целевых программ и грантов на строительство и модернизацию центров ядерной диагностики и терапии. Бурное развитие данного сектора продолжается и в тех государствах, которые отрицают необходимость сохранения или внедрения других атомных технологий, особенно в энергетике.

Россия, будучи одной из ведущих стран — носителей атомных технологий, ощутимо отстает от передовых государств по уровню ядерной медицины: при доле в мировом населении около 2%, на нашу страну приходится ~1% стоимостного объема рынка медицинских услуг в этой сфере, менее 0,5% рынка радиологического оборудования и менее 0,3% рыночной ниши РФП. По числу и охвату населения радиодиагностическими и терапевтическими процедурами Российская Федерация многократно уступает показателям целого ряда передовых государств. Это объясняется, среди прочего, недостаточной оснащенностью оборудованием.

Существующая в РФ редкая инфраструктура ядерной медицины до настоящего времени опирается на иностранные технологии. В России

планируется освоить серийный выпуск ключевых видов основного оборудования (в том числе локализованного западного) и построить ряд центров ядерной медицины в разных регионах страны. Тем самым госкорпорация рассчитывает реализовать многообещающий коммерческий потенциал отечественного рынка. Более того, к 2030 году Росатом планирует занять около 1/10 мирового рынка ядерной медицины [24].

Заключение

Лучевая терапия на протяжении уже многих десятилетий остается одним из ведущих методов лечения злокачественных новообразований, и от ее доступности, своевременности и качества напрямую зависит эффективность борьбы как с онкологическими заболеваниями, так и с целым рядом тяжелых, порой фатальных, неонкологических расстройств.

Литература

1. Как это работает. УЗИ-сканер // Ростех [Официальный сайт] <https://rostec.ru/news/kak-eto-rabotaet-uzi-skaner/> (дата обращения 19.09.2021).
2. История развития ультразвуковой диагностики в акушерстве и гинекологии // Медицинские аспекты здоровья женщины журнал / Ткаченко Р. Н. и др. Киев: ООО «Медицинские аспекты здоровья человека» [Электронный ресурс] <https://mazg.com.ua/ru/archive/2008/1%2810%29/article-130/istoriya-razvitiya-ultrazvukovoy-diagnostiki-v-akusherstve-i-ginekologii-> (дата обращения 20.09.2021).
3. Ультразвуковые исследования // Википедия [Электронный ресурс]. https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковое_исследование (дата обращения 18.09.2021).
4. Принцип работы УЗИ // ERS Plus: Ремонт медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://ersplus.ru/stati/uzi/fizika> (дата обращения 20.09.2021).
5. Ультразвуковые методы исследования // Euromed: дистрибьютор медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://euromedcompany.ru/ultrazvuk/ultrazvukovye-metody-issledovaniya/> (дата обращения 17.09.2021).
6. Классификация УЗИ аппаратов // Медико групп: дистрибьютор медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://www.mediko.ru/index.php?id=23> (дата обращения 17.09.2021).
7. Рентгеновский сканер // Википедия [Электронный ресурс]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Рентгеновский_сканер (дата обращения 24.10.2021)
8. Устройство рентгеновского аппарата // Ds.med: официальный дистрибьютор медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://ds-med.ru/статьи/устройство-рентгеновского-аппарата/> (дата обращения 20.10.2021)
9. Основы рентгенологии // Zoomed: официальный дистрибьютор медицинского оборудования для ветеринарных клиник [Официальный сайт] https://www.zoomed.ru/events_and_training/articles/138/ (дата обращения 28.10.2021)

10. Для чего нужна флюорография // ФБУЗ МСЧ 9 ФМБА России [Официальный сайт] <http://msch9fmba.ru/stati-spetsialistov-msch-9/rentgenologiya/dlya-chego-nuzhna-flyuorografiya> (дата обращения 28.10.2021)
11. Флюорограф // ООО «ГМК «Киль»: комплексные поставки медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://medtechmarket.ru/glossary/fluorograph/> (дата обращения 28.10.2021)
12. Цифровая рентгенодиагностическая аппаратура: тенденции развития // Ds.med: официальный дистрибьютор медицинского оборудования [Официальный сайт] <http://cifrorentgeny-viziografy.ru/digital-rentgen-apparaty-tendencii-perspektivy-razvitiya> (дата обращения 28.10.2021)
13. Как развивается рентгенология // Rentgenapparat.ru [Официальный сайт] <https://rentgenapparat.ru/kak-razvivaetsya-rentgenologiya-v-moskve-glavnye-trendy> (дата обращения 28.10.2021)
14. Флюорография // Клиника 112: официальный дистрибьютор медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://www.klinika112.ru/uslugi/funkcionalnie-issledovaniya/fluorografiya/> (дата обращения 24.10.2021)
15. Устройство и принцип работы рентгеновского аппарата // Stormoff: торгово-производственная организация медицинского оборудования [Официальный сайт] https://stormoff.ru/mediacenter/articles/article_139/ (дата обращения 24.10.2021)
16. Технические характеристики рентгеновских аппаратов // Медэкс-центр: интернет магазин медицинского оборудования [Официальный сайт] <https://www.medexinter.ru/stati/tehnicheskie-harakteristiki-rentgenovskih-apparatov/> (дата обращения 24.10.2021)
17. Основы компьютерной томографии [Официальный сайт]. <https://radiology24.ru/grundlagen-der-computertomographie/> (19.10.2021)
18. Физические основы КТ [Официальный сайт]. <https://mrt-kt.ru/stati/fizika-kt> (19.10.2021)
19. Спиральная компьютерная томография [Официальный сайт] <https://med122.com/about/structure/detail/611/page/628/> (дата обращения 31.10.2021)
20. Перспективы развития МРТ [Официальный сайт]. <http://www.mrt-serpuhov.ru/perspektivy-i-mrt/> (дата обращения 19.10.2021)
21. G. T. Szeifert. Radiosurgery and pathological fundamentals / volume editors D, Kondziolka [et al.], 2007. — P. 29 — 41, 51—54,
22. Vaibhav Patil BA. Principles and Practice of Stereotactic Radiosurgery/ volume editors Lawrence S. Chin MD, William F. Regine MD., 2008. — P. 27, 33—50, 60—70.
23. Jeremy C. Ganz. Gamma Knife Neurosurgery / 2011. — P. 3, 68—70.
24. Ядерные технологии в медицине //Атомный эксперт // [Официальный сайт] <https://atomicexpert.com/nuclear-medicine-today> (дата обращения 26.10.2021)

АППАРАТНЫЙ МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ ПСИХИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**А.А. Анненкова, Е.А. Житникова, Е.С. Пахомова,
М.Д. Шумакова (ред. Н.И. Исакова)**

Психическими расстройствами принято считать нарушения, мешающие человеку адекватно воспринимать окружающий его мир. Зачастую подобные нарушения приносят сильные страдания человеку и мешают ему жить нормальной жизнью. Долгое время психические расстройства были практически неизлечимы, так как их диагностика и лечение требуют серьезного изучения мозга. В современном мире существует несколько методов лечения психических заболеваний, однако наиболее эффективным из них считается аппаратный метод.

Введение

Отдельную часть в истории медицины занимает история диагностики психических заболеваний и методов их лечения. Зачастую эти методы оказывались малоэффективными, а порой даже вредоносными. На сегодняшний день существует два основных метода лечения психических расстройств: медикаментозный и аппаратный. Одним из самых прогрессивных современных методов является метод транскраниальной магнитной стимуляции.

Первым воздействие электромагнитных волн на человека начал изучать французский физиолог и физик д'Арсонваль. Ему удалось установить, что ток высокой частоты, проходящий через организм, оказывает на него действие на физиологическом уровне. Исследования д'Арсонваля послужили основанием такого раздела биологии, как биофизика.

Во второй половине 20 века начало распространяться использование магнитной стимуляции в медицинских целях. В 1985 году был создан прибор, благодаря которому стали активно развиваться современные способы применения транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС).

В настоящее время ТМС всё чаще используется в медицине во всех странах мира. В России данная методика только начала развиваться [1].

1. Медикаментозный метод лечения психических заболеваний

Медикаментозный метод лечения психических заболеваний является самым распространённым на сегодняшний день. Как правило, качественное лечение психических расстройств начинается с назначения различных фармакологических препаратов, которые оказывают довольно значительное воздействие на обменные процессы между клетками головного мозга. Основные группы назначаемых медикаментов включают стабилизаторы настроения, антидепрессантные препараты, транквилизаторы, нейролептические препараты. Однако на данном этапе развития фармакологии невозможно полностью контролировать процессы, происходящие в человеческом мозге с помощью воздействия на него какого-либо химического вещества.

Рассмотрим конкретный пример, подтверждающий истинность приведенного выше утверждения. Шизофрения - одно из самых распространенных психических заболеваний. Попытки её лечения предпринимаются с начала 19 века, однако на сегодняшний день болезнь считается неизлечимой. Существует несколько современных теорий, описывающих механизм протекания болезни, так называемая дофаминовая теория - одна из них. Она гласит, что в синапсах префронтальной коры (рис. 1) вырабатывается излишнее количество нейромедиатора - дофамина. Это можно заключить из того, что в крови и спинномозговой жидкости повышена концентрация продуктов распада этого нейромедиатора. Таким образом, большая часть лекарств, используемая для лечения данного психического заболевания, направлена на блокирование дофаминовых рецепторов. После использования таких препаратов приступы шизофрении снижаются. Однако уровень дофамина снижается не только в префронтальной коре, но и во всех остальных частях головного мозга, поэтому в моторной коре возникает недостаток дофаминовых нейронов, что способствует развитию другого психического заболевания - синдрома Паркинсона (этот синдром связан с нарушением координации движения) [2].

Таким образом, недостаток медикаментозного лечения заключается в невозможности регулировки уровня химических веществ в конкретной

зоне головного мозга. Несмотря на то, что с помощью медикаментозного метода лечения можно действительно устранить многие тяжелые симптомы психических заболеваний, его необходимо использовать с большой осторожностью, так как препараты, направленные на лечение психических расстройств, провоцируют огромное количество тяжелых побочных эффектов. Так, например, к ним относятся нарушение сна, сонливость, заторможенность, слабость, вялость, мышечную ригидность, нарушение углеводного обмена, нарушение концентрации внимания, головокружение, замедление скорости психических реакций, усиление тревожности, раздражительность, и многие другие в зависимости от препарата [3].

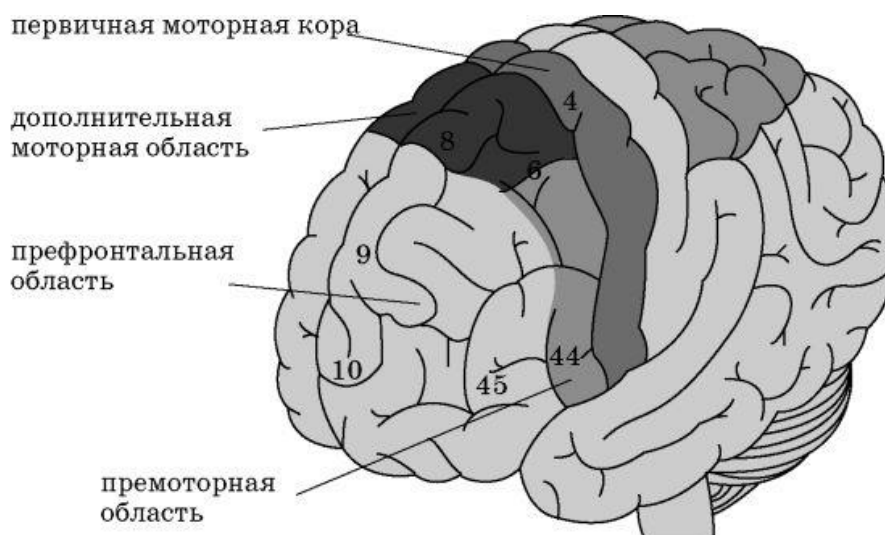


Рисунок 1 – Строение лобной доли коры головного мозга

2. Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС)

Относительно недавно в медицине стал использоваться новый метод лечения психических заболеваний, а именно транскраниальная магнитная стимуляция. ТМС - это неинвазивная стимуляция коры головного мозга при помощи коротких магнитных импульсов. Как правило, сеансы транскраниальной магнитной стимуляции назначаются в тех случаях, когда медикаментозный метод лечения не дает никаких результатов. Главным преимуществом ТМС перед фармацевтическими препаратами являет-

ся возможность воздействия на определенный участок головного мозга [4].

На данный момент ТМС используется для лечения огромного спектра различных психических отклонений: болезни Паркинсона, шизофрении, депрессии, болезни Альцгеймера, эпилепсии, аутизма, травм головного мозга, мигрени, синдрома Туретта, инсульта. Этот список можно продолжить. Стоит отметить, ТМС используется не только для лечения нервных заболеваний, но и для их диагностики, а также для исследования принципов действия головного мозга. В подавляющем большинстве случаев после проведения сеансов отмечается положительное влияние ТМС на мозг [5].

Преимущества ТМС

- Магнитное поле свободно проникает сквозь все типы тканей человеческого тела и достигает в неизменном виде необходимых для стимуляции зон.
- Процедура ТМС не требует особой подготовки пациента, может проводиться в послеоперационный период или при наличии инфекционных процессов.
- Выбор точки воздействия достигается простым перемещением катушки аппарата на некотором расстоянии от поверхности тела, что облегчает проведение процедуры.
- Отсутствие дискомфорта при проведении ТМС делает методику доступной для самого широкого использования, то есть для лечения детей.
- Методика ТМС является неинвазивной, то есть, во время процедуры не происходит воздействия на кожные покровы.

Методика проведения. Методика проведения ТМС довольно проста. В зависимости от целей проведения процедуры на определенные участки тела накладываются магнитные индукторы, называемые койлами, которые с определённой скоростью и интенсивностью генерируют магнитные поля, легко проходящие сквозь череп (рис. 2). Анестезия при проведении ТМС не требуется, так как в ходе процедуры не возникает болезненных

ощущений за исключением неприятного чувства «проскакивания тока» [6].



Рисунок 2 – Проведение ТМС

Побочные эффекты. ТМС считается безопасной и сравнительно безболезненной процедурой. Наиболее распространенный побочный эффект - лёгкая головная боль, возникающая во время проведения процедуры или сразу после неё. Также есть небольшой риск судорог, однако это происходит довольно редко. Необходимо помнить, что любое исследование может быть связано с определенным риском [7].

3. Устройство и работа ТМС

Основные части транскраниального магнитного стимулятора (ТМС) - система конденсаторов высокого напряжения (более 3,5 кВ) и большой силы тока, катушка и блок управления (рис. 3). Помимо этого, для нормального функционирования аппарата также необходимы: модуль охлаждения аппарата, рукоятка (кронштейн) для фиксации катушки, программное обеспечение. Каждый из компонентов выполняет собственную функцию. Модуль охлаждения представляет из себя жидкостную систему

охлаждения. Во время работы стимулятора катушка нагревается, возникает необходимость снижать ее температуру. Модуль охлаждения обеспечивает непрерывную работу стимулятора. Охлаждающая жидкость движется по обмотке катушки, тем самым уменьшая ее температуру.



Рисунок 3 – Транскраниальный магнитный стимулятор

Передняя панель блока управления содержит показатели, отражающие параметры работы стимулятора. Основной блок может работать с частотой до 30 Гц; максимальная индукция достигается на частоте до 5–7 Гц. Кронштейн для индуктора устанавливает неизменное положение индуктора во время всего сеанса. Благодаря программному обеспечению компьютера ТМС может проводиться по заданным программам, а также возможно создание новых программ (программное обеспечение также может быть встроено в устройство магнитного стимулятора). Катушка (индуктор) в данном аппарате необходима для воздействия на церебральные структуры организма. Ее особенность строения в том, что длина значительно меньше диаметра. Размеры катушки сильно влияют на особенно-

сти ее работы. Так, катушки с небольшим диаметром создают магнитное поле с большой индукцией у поверхности кожи. Такие катушки эффективны при стимуляции поверхностных нервов. Катушки с большим диаметром проводят стимуляцию более глубоких структур головного мозга. Различают индукторы также по форме:

1. Кольцевой индуктор (рис. 4). Его используют для периферической стимуляции мышц и кортикальной билатеральной стимуляции (т.е. стимуляции, которая попеременно активирует левое и правое полушария мозга). Большой кольцевой индуктор создает магнитное поле с наибольшей индуктивностью (около 2,2 Тл). Данный индуктор обладает наибольшей площадью воздействия. При использовании малого кольцевого индуктора создается магнитное поле с индукцией 2 Тл, однако площадь и глубина воздействия на ткани значительно меньше [8].



Рисунок 4 – Кольцевой индуктор

2. Индуктор-восьмерка (рис. 5). Стимулирует более глубоко расположенные ткани по сравнению с кольцевым индуктором, однако имеет меньшую площадь зоны стимуляции и индукция создаваемого им поля ниже (0,9Тл). Диаметр его катушек по 10 см.

3. Угловой индуктор-восьмерка (рис. 6). Благодаря своей форме ближе прилегает к голове пациента, поэтому пригоден для глубокой кортикальной стимуляции. Диаметр катушек такой же как у обычного индуктора-восьмерки.

4. Двойной конический индуктор (рис. 7). Предназначен для стимуляции корковых представительств мышц нижних конечностей и тазового

дна (для локальной стимуляции), а также для мозжечка. Его диаметр катушек составляет по 12,5 см.



Рисунок 5 – Индуктор - восьмерка



Рисунок 6 – Угловой индуктор – восьмерка



Рисунок 7 – Двойной конический индуктор

Принцип действия. Одиночные или парные импульсы ТМС воздействуют на расположенные в зоне стимуляции коры головного мозга нейроны, что приводит к их деполяризации, это становится причиной возникновения и распространения потенциала действия. Вследствие этого в нервной ткани возникает импульс. Нейрон, располагающийся в моторной коре головного мозга, считается первым.

Вызванное ТМС возбуждение первого нейрона пирамидной системы по кортикоспинальному тракту (т.е. по пути, начинающемся в коре головного мозга и заканчивающемся в пирамидах нижнего продолговатого мозга) передается второму нейрону пирамидной системы, тело которого располагается в передних рогах серого вещества спинного мозга. Далее возбуждение через передний корешок спинного мозга переходит от второго нейрона в периферический нерв и вызывает сокращение мышцы, связанной с этим нервом. Результаты изменения функциональной связи нейронов фиксируются электромиографом и выводятся на экран компьютера в виде кривых, отражающих значение вызванного моторного ответа (рис. 8). Показатели ВМО используются для диагностики возбудимости, целостности, проводимости нейронов и проводящих путей [9].

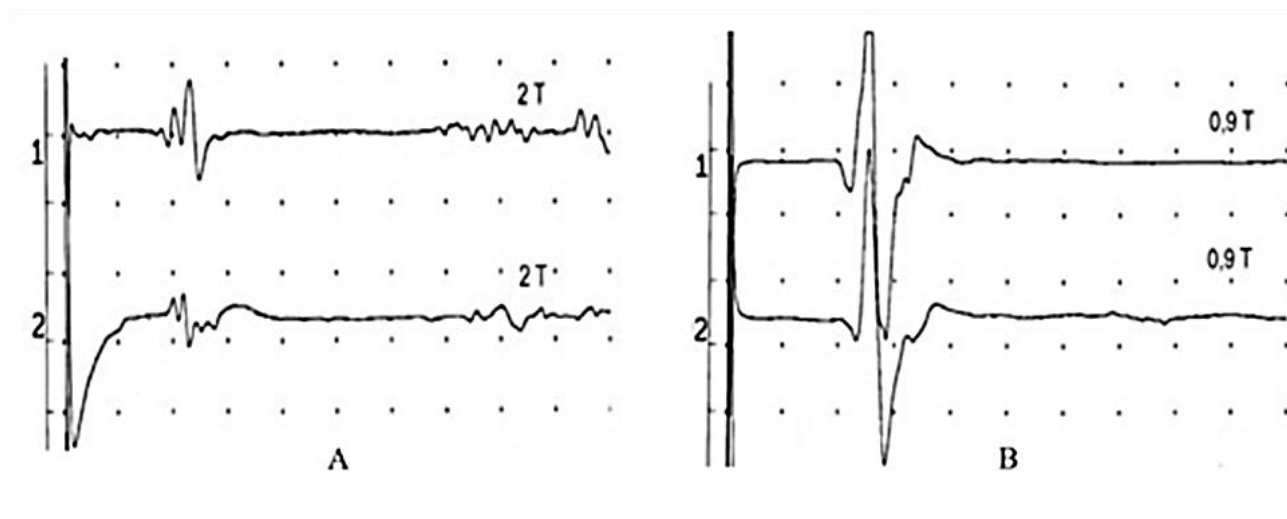


Рисунок 8 – Кривые вызванного моторного ответа

ТМС участков моторной коры головного мозга вызывает сокращение скелетных мышц, поэтому реакция исследуется как в участках стимулируемой коры, так и в мышцах. При действии стимулятора мембрана нейрона

деполяризуется и формируется потенциал действия. Вследствие этого в нервной ткани возникает импульс. Нейрон, располагающийся в моторной коре головного мозга, считается первым.

Вызванное ТМС возбуждение первого нейрона пирамидной системы по кортикоспинальному тракту (т.е. по пути, начинающемся в коре головного мозга и заканчивающемся в пирамидах нижнего продолговатого мозга) передается второму нейрону пирамидной системы, тело которого располагается в передних рогах серого вещества спинного мозга. Далее возбуждение через передний корешок спинного мозга переходит от второго нейрона в периферический нерв и вызывает сокращение мышцы, связанной с этим нервом.

Электромиограф считывает эти данные, и результаты выводятся на экран компьютера в виде кривых, отражающих значение вызванного моторного ответа (ВМО). ВМО отражает возбудимость нервных клеток в точке стимуляции, скорость распространения возбуждения по проводящим моторным путям, а также равномерность движения вызываемого импульса (рис. 9) [10].

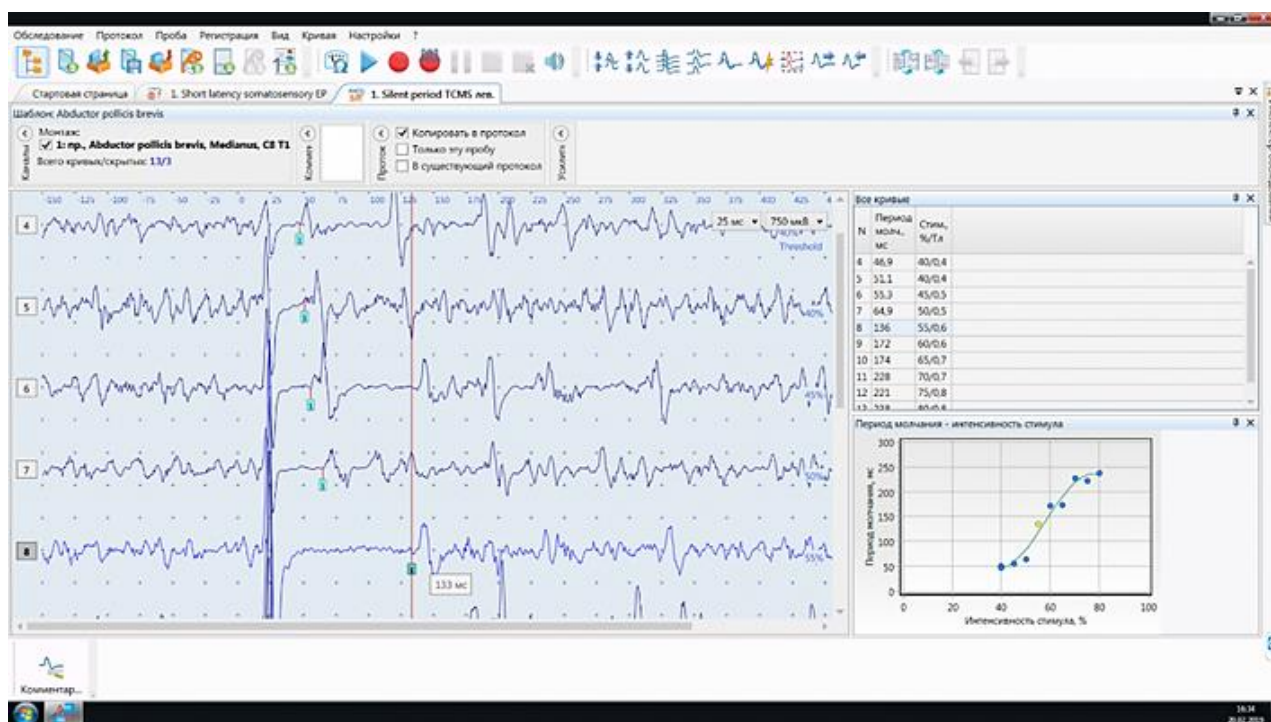


Рисунок 9 – Результат работы электромиографа

Обобщая, можно утверждать, что принцип работы ТМС состоит в следующем: система конденсаторов создает ток, который передается на катушки, в которых впоследствии формируется магнитное поле. Из-за чего в нервных тканях образуется собственный электрический ток, проходящий от стимулируемых корковых структур к тканям и мышцам

Заключение

На данный момент транскраниальную магнитную стимуляцию можно считать самым эффективным методом лечения психологических заболеваний. Этот способ лечения имеет ряд преимуществ перед медикаментозным: неинвазивен, имеет меньше побочных эффектов. Однако, несмотря на это, к нему прибегают реже. Тем не менее в настоящее время можно наблюдать тенденцию более широкого использования ТМС в медицинской практике во всех странах мира. С каждым днём всё больше людей прибегают к использованию данного метода лечения. Сегодня процедура ТМС – одно из наиболее действенных способов реабилитации больных, страдающих теми или иными расстройствами нервной системы. Спектр применения этого способа стимуляции нейронов очень широк и применяется при самых различных диагнозах как для лечения взрослых, так и в педиатрии.

Транскраниальная магнитная стимуляция является результатом длительного процесса изучения электромагнитных явлений человечеством. Тем не менее прогресс не стоит на месте. И сегодня продолжают исследования и разработки, которые в скором будущем позволят с помощью электромагнитных волн подробнее изучить мозг человека, что в свою очередь, хочется верить, даст возможность вылечить болезни, которые пока что считаются неизлечимыми.

Литература

1. Гимранов Р.Ф. История возникновения ТМС [Электрон. ресурс] <https://newneuro.ru/istoriya-vozniknoveniya-tms/> (дата обращения 15.11.2021).
2. Авруцкий Г.Я., Недува А.А. Лечение психически больных: (руководство для врачей) - М. Медицина, 1981.

3. IsraClinic [Официальный сайт] <https://www.israclinic.com/nashi-publikatsii/psikhiatriya/lechenie-shizofrenii-bez-neyroleptikov-realnost-i-mify/> (дата обращения 15.10.2021).
4. Цукарзи Э.Э., Ильин С.А., Мосолов С.Н. Применение транскраниальной магнитной стимуляции и электросудорожной терапии при терапевтически резистентных депрессиях [Электронный ресурс]. https://www.psypharma.ru/sites/default/files/primenenie_transkranialnoy_magnitnoy.pdf (дата обращения 15.11.2021).
5. Пойдашева А.Г., Бакулин И.С., Легостаева Л.А. Метод ТМС-ЭЭГ: возможности и перспективы // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова, 2019, Т. 69, № 3, стр. 267-279.
6. Сорочинский А.А. Транскраниальная магнитная стимуляция // Журнал: Известия ЮФУ. Технические науки – 2010 – №9 – стр. 207-210
7. Нейрософт [Официальный сайт] <https://neurosoft.com/ru/catalog/eeg/1952> (дата обращения 15.10.2021).
8. Кистень О.В., Давыдов М.В., Евстигнеев В.В. Закономерность распределения индуцированных токов при транскраниальной магнитной стимуляции и применение ее у больных эпилепсией [Электронный ресурс] <http://neurosite.biz/stati/zpitptmsipebe.html>
9. Кашежев А.Г. Динамика моторных и немоторных проявлений болезни паркинсона на фоне ритмической транскраниальной магнитной стимуляции // Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата медицинских наук.
10. Транскраниальная магнитная стимуляция [Электронный ресурс] <https://cmi.to/транскраниальная-магнитная-стимуляц/> (дата обращения 13.11.2021).

ЧИП ДЛЯ МОЗГА. ЕГО СПЕКТР ВОЗМОЖНОСТЕЙ В МЕДИЦИНЕ И В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

**Д.А. Полойко, Е.А. Муляр, Г.А. Журавлев, А.С. Линев,
Г.Д. Иванушкин (ред. Т.Б. Мишенина)**

В ходе нашей работы мы хотим рассмотреть создание чипа для мозга и возможности данного изобретения. До сих пор нет готового чипа, но компания Илона Маска имеет наработки и можно считать, что они на финишной прямой. И мы собираемся описать работу чипа, его взаимодействие с организмом и будущее данного изобретения.

Введение

Человечество всегда стремилось к развитию, улучшению своих умственных и физических возможностей, а также усовершенствованию и продлению своей жизни. В девятнадцатом веке люди сконструировали машины, чтобы быстрее передвигаться, а в двадцатом построили самолеты, что позволило нам летать. Но на этом люди не остановились и уже в двадцать первом веке люди работают над тем, как модернизировать своё тело, создают различные протезы для людей с ограниченными возможностями и уже сегодня разрабатывают нейрочипы, которые сделают жизнь комфортнее не только для здоровых людей, но и для тех, кто страдает различными неврологическими заболеваниями, которые сегодня сложно или даже невозможно излечить. Ведущим в этой сфере на данный момент является проект Neuralink Илона Маска [1], который стартовал в 2016 году.

1. История

Люди с приходом всё более продвинутых технологий начинали задумываться о чипах и имплантах. Зачастую это сопровождалось с мыслями о тотальном контроле людей, но мы бы хотели поговорить об удобстве и здоровье. Первым человеком с имплантом был Кевин Уорик [2] в 1998 году, микрочип-импланты был внедрен ему в руку. Он помогал ему

открывать двери, включать свет. Вскоре появились энтузиасты, которые пытались устанавливать такого рода импланты, например Джонатан Оксер, который самостоятельно вживил себе чип RFID (рисунок 1) (Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация), используя только ветеринарный инструмент для имплантации.

Главный, как мы считаем, кто популяризовал данное явление, был Амаль Граафстра [3]. Он в 2005 году попросил врачей вживить импланты в его руки.левой рукой занимался врач хирург-косметолог, а в правую руку внедрял семейный врач. На сегодняшний день Амаль использует свои импланты, чтобы получить доступ к своему дому, компьютеру, а также благодаря ему открывает свою машину. Вскоре Граафстра основал свою фирму по биологическому хакерству и уже в 2014 году представил миру NFC передатчик.



Рисунок 1 – Чип RFID

Ещё один человек, использующий микрочипы, это Ханнес Съёбланд. Он, экспериментируя с микрочипами, вживил себе их между указательным и большим пальцами и использует его для отпирания дверей, оплаты, разблокировки своего смартфона.

16 марта 2009 года британский ученый Макр Гассон вживил себе в руку стеклянный имплант и в апреле 2010 года команда Гассона продемонстрировала, как компьютерный вирус с помощью беспроводной связи может заразить чип, а затем начать передавать данные в другие системы.[4] Данное имя не просто так мы решили внести в конец списка про микрочипы-импланты RFID, т.к. видно, что они могут людям существенно упростить жизнь, но также подвергнуть рискам личной информации человека. Можно предположить, что при определенных

обстоятельствах эти чипы смогу передавать пульс человека и его местоположение.

Однако данные чипы подвергают их владельца рискам раковых опухолей. Например, исследователь Кэтрин Альбрехт ссылается на ветеринарные и токсикологические отчеты, в которых отмечается, что после внедрения чипов в этих местах появлялись раковые опухоли. Но данное заявление опровергли из-за неимения убедительных фактов. Однако дальнейшее исследование было продолжено в этом направлении. На сегодняшний день данные чипы имеют в основном домашние животные, это упрощает их содержание, также планируется внедрять их и людям с деменцией. Мы можем предположить, что чипы в руки, используемые для упрощения жизни, будут в скором времени как часть жизни человека.

Проведя анализ, можно увидеть, что данные технологии однозначно могут пригодиться в медицине, уже сегодня можно получать информации о газах крови, выводить данную информацию на какое-либо устройство с NFC модулем. Мы предполагаем, что в скором будущем будут проводиться различные исследования и тесты с чипом для головного мозга человека, что откроет новые горизонты в медицине. (Это было продемонстрировано на свинье Гертруда в 2020 году, благодаря беспроводной связи ее мозг подключился к компьютеру). Сегодня проводятся исследования в этой области на животных, это лишь вопрос времени, когда люди станут использовать чипы в медицинских целях. Компания Neuralink является инноватором на сегодняшний день по разработке чипов головного мозга, по заявлениям Илона Маска они внедрились в мозг обезьяны чип, который позволил играть в компьютерную игру силой мысли. В дальнейшем, они надеются, что данные разработки смогут лечить травмы головного мозга, спинного мозга, также в долгосрочной перспективе Neuralink хочет найти способ усовершенствовать людей, пока неясно каким именно образом. Мы искренне надеемся, что современные технологии будут рассматривать

только в медицинских целях и упрощения жизни. Мы надеемся, что данные технологии будут доступны всем нуждающимся.

2. Физиологические основы

На данный момент наработки в данной сфере имеет только Neuralink. По их замыслу, специальные датчики будут крепиться к синапсам и считывать данные, переходящие с нейрона на нейрон. Датчики у них расположены в четырех местах больших полушарий мозга. Главный компьютер расположен над теменной долей мозга или за ухом и контролируется с помощью приложения. Далее мы более подробно рассмотрим строение мозга и нейронов, чтобы понимать работу чипа с точки зрения физиологии.

Сначала изучим на что будет влиять наш чип напрямую, а именно мозг [5] (рисунок 2). В головном мозге различают пять отделов: продолговатый мозг, задний, средний, промежуточный и передний мозг. Наряду с приведённым выше делением на отделы, весь мозг разделяют на три большие части: полушария большого мозга, мозжечок и ствол мозга. Мозжечок и ствол мозга тоже нужны нам в нашей теме, ведь мозжечок отвечает за координацию движений, регуляцию равновесия и мышечного тонуса, а ствол связывает мозг со спинным мозгом. Также головной мозг имеет оболочки, как и спинной мозг, этот аспект тоже нужно учесть, ведь мы должны знать, как эти оболочки будут реагировать на наш чип.

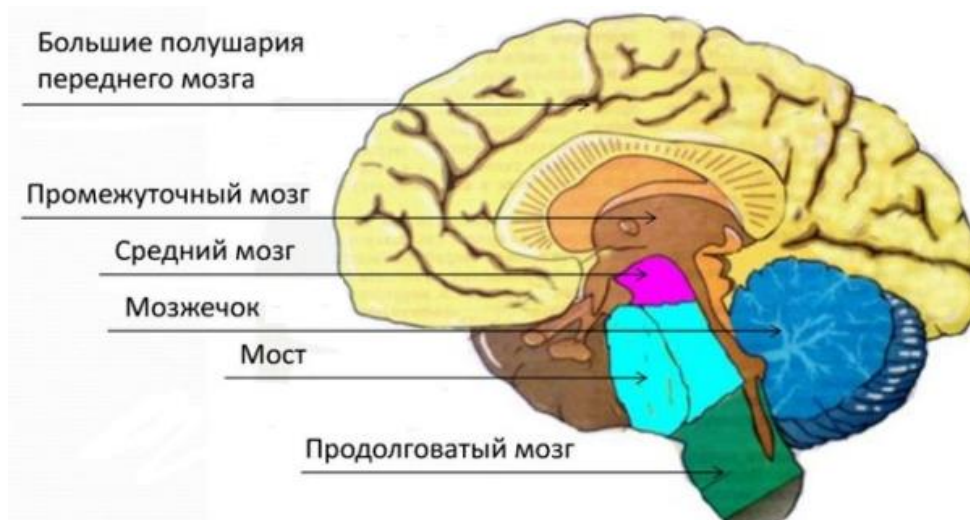


Рисунок 2 - Строение мозга

Отделы головного мозга:

1. Продолговатый мозг – задний отдел головного мозга, непосредственное продолжение спинного мозга. Происходит из ромбовидного мозга и входит в ствол головного мозга. Регулирует такие основные процессы жизнедеятельности, как дыхание и кровообращение, поэтому в случае повреждения продолговатого мозга мгновенно наступает смерть. Очень важный отдел мозга с точки зрения нашей темы, ведь он является продолжением спинного мозга, но, с другой стороны, опасно как-либо воздействовать на него, ведь это может легко привести к летальному исходу, а цель нашего проекта создать максимально безопасный аппарат.
2. Задний мозг. Этот отдел состоит из двух частей: моста и мозжечка. Как уже было сказано, мозжечок важен в разработке чипа. Хотя мозжечок и связан с корой головного мозга, его деятельность не контролируется сознанием. Если говорить простым языком, то мозжечок своего рода вспомогательный компьютер для нашего мозга. Он получает копию импульсов, передаваемых из спинного мозга в кору полушарий головного мозга, а также от двигательных центров коры полушарий к спинному мозгу. Первая сигнализирует о текущем состоянии регулируемой переменной (мышечный тонус, положение тела и конечностей в пространстве), а вторая даёт представление о требуемом конечном состоянии. Обработывая эти два сигнала, кора мозжечка может рассчитывать ошибку, о которой сообщает в двигательные центры. Так мозжечок непрерывно корректирует как произвольные, так и непроизвольные движения. Еще было обнаружено участие мозжечка и в процессах высшей нервной деятельности: накопления опыта, памяти, мышления. Хотя объём мозжечка составляет лишь 10 % объема мозга, но он содержит более половины всех нейронов ЦНС, делая его одним из самых важных отделов. Тем более мозжечок находится относительно рядом с ушами, что делает его расположение весьма удобным, чтобы основной модуль нашего аппарата находился за ухом, как слуховой аппарат. А мост является

продолжением спинного мозга и идет до мозжечка, он тоже собирает информацию почти по всему телу, тем самым эти две части выполняют почти весь функционал мозга нужный нашей теме. Так что если разместить датчики на этих частях, то, по сути, мы будем получать всю нужную информацию.

3. Средний мозг соединяет задний мозг с промежуточным. На крыше среднего мозга находится четверохолмие: 2 зрительных холмика, 2 слуховых холмика. Функция этого отдела мозга отвечает за зрительную и слуховую информацию. В нашем проекте этот отдел не играет особой роли, так как мы хотим разработать аппарат, который будет упрощать работу с протезами руки или ноги.
4. Промежуточный мозг состоит из гипоталамуса, таламуса, метаталамуса, эпиталамуса и отвечает в основном за выработку гормонов и регуляцию процессов жизнедеятельности (роста, обмена веществ и тд.). Поэтому этот отдел нас тоже не интересует.
5. Передний (конечный) мозг. Он покрывает сверху все остальные отделы. Конечный мозг состоит из двух полушарий. Состав полушарий: серое вещество образует кору полушарий и подкорковые ядра, белое вещество образует проводящие нервные пути. Левое полушарие головного мозга управляет правой половиной тела, а правое — левой. Два полушария дополняют друг друга. Так что в целом разместить датчики по двум полушариям стоит для информации, отвечающей за праксис, в том числе и за моторную сторону речи, мышление, сознание, планирование, произвольность, инициативу, волю.

Также есть черепные нервы, но они отвечают за мимические движения и движения глаз, поэтому этот раздел нам особо не нужен.

Исходя из данных наблюдений, мы можем сделать вывод, что нужно обратить внимание на мозжечок, мост и на продолговатый мозг, ведь эти части отвечают за движения (получение, обработку и отдачу информации).

Мозг обменивается информацией с помощью нейронов путем импульсов, поэтому стоит рассмотреть строение нейронов (рисунок 3) и их

работу. Нейрон состоит из тела и отростков. Тело состоит из органелл тигроида и нейрофибриллы. Они отвечают за синтез белков и аксональный транспорт. В нейроне нервные импульсы по дендритам проходят к соме клетки. В аксонном холмике происходит генерация потенциала действия (нервный импульс). Нервный импульс по аксону достигает аксонных терминалий, а с них переходит сразу на несколько нейронов или рабочих органов. Благодаря отросткам нейроны контактируют друг с другом и образуют нейронные сети и круги, по которым циркулируют нервные импульсы. Один нейрон может иметь связи со многими другими. С помощью синапсов нейроны контактируют между собой и клетками рабочего органа.

Тем самым нам нужно разместить датчики так, чтобы они могли считывать сигнал с нейронов и передавать его на основной модуль, с которого будет передаваться команда на протез. Разработки в данной сфере ведет Илон Маск, однако на данный момент это всего лишь идея.

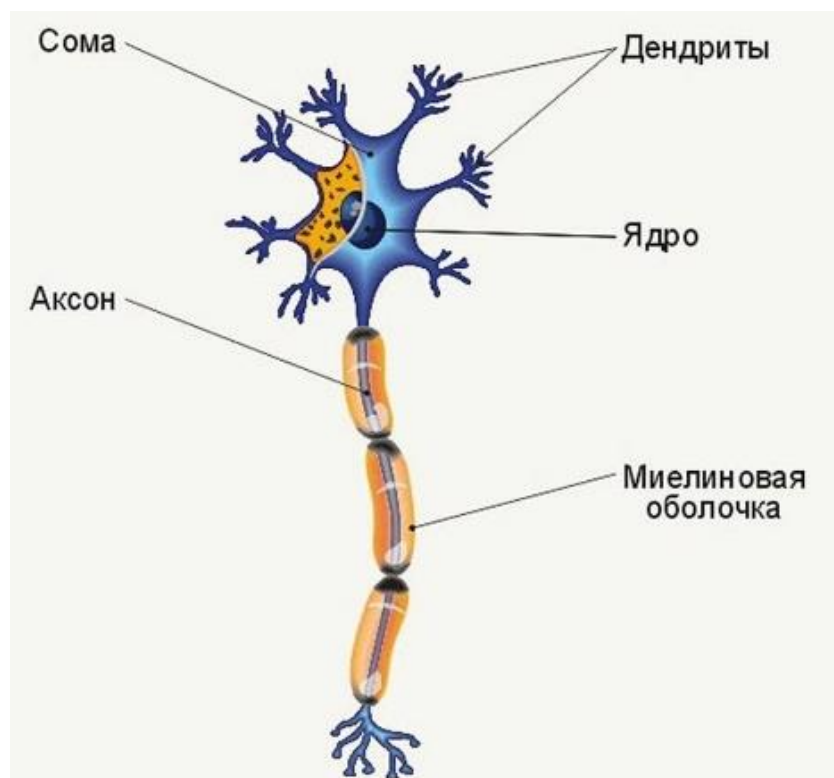


Рисунок 3 - Строение нейрона

3. Физические основы

Чтобы понимать, что именно датчики должны считывать и как они будут расшифровывать команды мозга, надо разобраться, какими свойствами обладают импульсы, передаваемые нейронами. В частности, рассчитанная оптимальная частота генерации импульсов варьирует от 6 до 43 имп./с. Их можно подразделить на две группы по частоте импульсации: медленные (~10 имп./с) и быстрые (~40 имп./с) [6]. При этом первая группа значительно превосходит по численности вторую. Аналогичная картина наблюдается и в коре больших полушарий: медленных пирамидальных нейронов (~4-9 имп./с) в несколько раз больше, чем быстрых ингибиторных интернейронов (>100 имп./с). Тем самым, мозг «предпочитает» использовать поменьше быстрых и энергозатратных нейронов, чтобы те не израсходовали все ресурсы. Потенциал действия (ПД) – сигнал, который отправляют друг другу нейроны. ПД бывают разные: быстрые и медленные, малые и большие. Зачастую они организованы в длинные последовательности, либо в короткие высокочастотные «пачки». Большое разнообразие сигналов обусловлено огромным количеством комбинаций разных типов ионных каналов, синаптических контактов, а также морфологией нейронов. Поскольку в основе сигнальных процессов нейрона лежат ионные токи, стоит ожидать, что разные ПД требуют различных энергозатрат.

Мы рассмотрели частоту импульсаций, но в этом процессе замешана еще и химия. В нейронах производятся особые химические вещества – нейромедиаторы. К ним относятся, например, адреналин, дофамин и другие. Различные нейроны используют и разные химические вещества. Выброс нейромедиаторов для вызова других нейронов происходит в синапсе. В целом электрическая активность головного мозга – это один из важных показателей его работы. С помощью тонких гибких многоэлектродных полимерных зондов чип может собирать необработанные данные об электрической активности в мозгу, сжимать их, оставляя главное, и передавать на беспроводной модуль.

Мы также можем рассмотреть работу наиболее приближенного к нашей теме аппарата-электроэнцефалографа (рисунок 4). Электроэнцефалограф [7] считывает с поверхности головы электрические сигналы и записывает их на бумагу или выводит на экран монитора в виде электроэнцефалограммы, которая затем изучается и расшифровывается специалистом с целью постановки диагноза.

Биопотенциалы снимаются с кожи головы пациента электродами и передаются на коммутатор отведения. Далее следует его усиление, калибровка и фильтрация, после чего он записывается на бумагу и/или выводится на монитор регистрирующим устройством.



Рисунок 4 - Электроэнцефалограф.

Коммутаторы служат для передачи необходимого количества биопотенциалов точек.

Коммутатор характеризуется количеством передающих сигналы каналов. Их может быть 4, 8, 16 и 32. Точность электроэнцефалограммы зависит от количества коммутаторов-чем их больше, тем точнее.

Из коммутатора сигнал поступает в усилитель биопотенциалов, обладающий большим коэффициентом усиления (от 1-го мкВ до десятков вольт), и далее следует в устройство фильтрации.

Сам электроэнцефалограф очень чувствительный аппарат, и даже малейший внешний шум или свет могут сбить показания, ведь человек на все это реагирует.

4. Дальнейшие перспективы

При помощи вживляемого в мозг чипа планируется помочь больным людям обрести возможности здоровых. Так, предполагается, что чип сможет помочь пациентам с болезнью Паркинсона, а также парализованным людям, которые смогут набирать текст на экране компьютера силой мысли. В частности, чип позволит человеку осуществлять деятельность в труднодоступных местах, например, с высоким уровнем радиации и космосе. Также он сможет автономно формировать цели, оценивать ситуацию и прогнозировать ее развитие и принимать решения, поможет в развитии технологий, связанных с диагностикой и лечением заболеваний, в том числе на незрячих людей.

Заключение

Подводя итоги, изучив строение нашего мозга, историю изобретения и разработки этой технологии, ее возможности и будущее влияние на нашу жизнь, можно сказать, что нейрочип - возможно одно из самых перспективных будущих изобретений, которое позволит нам не только улучшить свои физические и умственные способности или упростить свою жизнь, но и излечивать травмы головного мозга и спинного мозга и, таким образом, это изобретение является огромным шагом для человечества в медицинской сфере. Главные вопросы, которые не позволяют нам быть полностью уверенными, что это будет лучшим изобретением человечества, - это проблема его защиты от хакерских атак, использование чипов в военных целях и его доступность для обычных людей.

Литература

1. Neuralink [Офиц. сайт] <https://neuralink.com> (Дата обращения: 18.11.2021).
2. Кевин Уорик [Электрон. ресурс] <https://ru.wikipedia.org> (Дата обращения: 19.11.2021).

3. Амаль Граафтсра [Электрон. ресурс] <https://www.rbc.ru> (Дата обращения: 17.11.2021).
4. Британский ученый говорит, что заразился компьютерным вирусом. [Электрон. ресурс] <https://www.bbc.com> (Дата обращения: 17.11.2021).
5. Онлайн-школа Фоксфорд. Строение головного мозга человека. [Электрон.ресурс] <https://foxford.ru> (Дата обращения: 12.11.2021).
6. Олег Жуков. Мозг, общение нейронов и энергетическая эффективность. [Электрон. ресурс] <https://biomolecula.ru> (Дата обращения: 10.11.2021).
7. Фурманова Елена Александровна. ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ. [Электрон. ресурс] <https://foodandhealth.ru> (Дата обращения: 15.11.21).

РЕАНИМАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

И.И. Самохин (ред. Т.Б. Мишенина)

Целью данной работы является рассказать о реанимационном оборудовании. И для этого мы выполним несколько шагов: узнаем о том какое бывает оборудование; изучим историю появления и развития реанимационного оборудования; произведем анализ работы оборудования, современного развития этого направления и опишем существующую на сегодняшний день технику; сделаем вывод по проделанной работе.

Введение

«Реанимация» происходит от латинского соединения слов «ге» и «animator», которое вместе означает «возвращение к жизни» или «оживление». В современном понимании реанимация – это комплекс мероприятий, которые направлены на оживление жизненно необходимых функций организма: восстановление и поддержание деятельности сердца, дыхания пациента и обмена веществ. Если больной не в состоянии сам поддерживать эти функции, то, помимо интенсивной терапии, используется оборудование для реанимации.

Что же представляет из себя реанимационное оборудование? Это оборудование, которое используют для оказания неотложной медицинской помощи. Включает в себя:

- аппараты искусственной вентиляции легких (ИВЛ);
- мониторы пациента;
- дефибрилляторы;
- концентраторы кислорода;
- наркозные аппараты;

Эта аппаратура предназначена для того, чтобы можно было поддержать жизнедеятельность организма человека, заменяя работу тех органов, которые в конкретный момент времени не могут выполнять свои функции

1. Применяемое оборудование

Аппарат искусственной вентиляции легких (рис. 1) - медицинский аппарат, направленный на поддержание оборота воздуха через легкие, переставшего дышать. Эти приборы также называют респираторами.

Аппарат подает в легкие воздушную смесь с требуемой концентрацией кислорода в нужном объеме под давлением.



Рисунок 1 – Аппарат искусственной вентиляции легких

Наркозное оборудование (рис. 2) - представляет собой систему, предназначенную для подачи пациенту анестезии. В большинстве случаев в наше время стали использовать наркозно-дыхательное оборудование.

Дефибриллятор (рис. 3) - Прибор, использующийся в медицине для электроимпульсной терапии грубых нарушений сердечного ритма. Устройство генерирует короткий высоковольтный импульс, вызывающий полное сокращение миокарда. После того, как сердце полностью

сократилось, существует вероятность восстановления нормального синусового ритма.



Рисунок 2 – Наркозное оборудование



Рисунок 3 – Дефибриллятор

Мониторы пациента (рис. 4) - это специальные устройства, которые позволяют контролировать динамику показателей пациента. С помощью монитора пациента можно проводить ЭКГ, измерять давление, частоту

дыхания, степень насыщения крови кислородом и другие важные показатели.



Рисунок 4 – Монитор пациента

Кислородный концентратор (рис. 5) — аппарат для выделения молекул кислорода из окружающей атмосферы, их концентрации и выдачи в виде потока чистого кислорода. Используется при кислородной терапии — пациенту подаётся кислород в более высокой концентрации, чем в атмосферном воздухе.



Рисунок 5 – Кислородный концентратор

2. История реанимационного оборудования

Оживление человека проводилось с древних времени только как правило имело эмпирический характер. История развития сердечно-легочной реанимации тесно связана с развитием общей медицины. Но поскольку достоверных документальных свидетельств почти не сохранилось, история зарождения и начало развития реаниматологии практически неизвестны.

Первые задокументированные сообщения об успешном оживлении датируются 1650 году. В Оксфорде когда доктора Уильям Петти, Томас Уиллис, Ральф Батурст приняли все возможные меры по возвращению женщины к жизни. [2]

Еще во времена Возрождения (А. Везалий) проводились эксперименты по оживлению. В тот же период первым кто применил ИВЛ при оживлении людей Т. Парацельс для его создания использовались кузнечные меха в качестве ручного респиратора. [3]

Только в 1911 г был разработан и начал промышленно выпускаться в Германии аппарат «Пульмотор» – автоматический респиратор для ИВЛ. Он применялся для реанимации пожарных и шахтеров. Позже эпидемия полиомиелита в Дании и Швеции в 1952-1953 гг стала толчком для разработки нового аппарата для ИВЛ датским ученым К.Г. Энгстрем. Одноименный прибор стал производиться промышленно и широко применялся в клиниках всего мира.

История анестезиологии начиналась с первой публичной демонстрации эфирного наркоза 16 октября 1846 года в Массачусетской многопрофильной больнице города Бостон (США). Именно эту дату можно считать отсчетом в развитии анестезиологии. Надо признать, что в истории имеются примеры применения анестезии и до 1846 года, однако они не получали широкой огласки, поэтому и не оказали влияния на медицину. В 1932 г. английские анестезиологи Мейджилл и Мейплесон сконструировали наркозный аппарат с блоком ротаметрических дозиметров для закиси азота в смеси с кислородом. С этих времен смесь закиси азота с кислоро-

дом является одним из неотъемлемых компонентов многих схем сбалансированной анестезии.

Электрические методы лечения аритмий и блокад сердца относительно недавно вошли в клиническую практику, тем не менее, ведут свою историю уже со второй половины 18 века. По всей видимости, первый официально документированный случай применения электрических импульсов для оказания помощи при внезапной смерти относится к 16 июля 1774 г. В 1900 г физиологи из Франции описали применение электрической дефибрилляции, демонстрируя возможность устранения фибрилляции желудочков высоковольтным током.[4]

В 1920 г. американские ученые университета Джона Хопкинса доказали возможность проведения дефибрилляции на закрытом сердце. С 1936 г в разных странах мира проводятся экспериментальные исследования по дефибрилляции. А первая успешная трансторакальная дефибрилляция при остановке сердца с фибрилляцией желудочков была проведена в 1956 г врачом Полом Морисом Золлом и с 1960 г этот метод считается основным при лечении внезапной остановки сердца.

В 1963 г врач Реддинг впервые применил для реанимации адреналин, введенный внутрисердечно.

Технология мониторинга пациентов получила широкое распространение, начиная с 1954 года, но первоначальные мониторы пациентов, также известные как физиологические мониторы, были просты в дизайне по сравнению с современными высокотехнологичными дисплеями.

Конструкция состояла из монохромных дисплеев для просмотра ЭКГ, показателя сердечного ритма пациента, сигналов тревоги, чтобы уведомить персонал больницы о любых экстремальных нарушениях, а также была возможность подключения к электрокардиографу для распечатки результатов, монитор пациента не сильно изменился в течении десятилетия, и только с 1960-х конструкция претерпела изменения с внедрением телеметрии.

Начиная с 1970-х годов цифровая электроника стала частью системы мониторов, позволяя упростить хранение показаний на цифровых носите-

лях. Только в 1980-х годах стало возможным исследование приступов аритмии. В это же время мониторы начали использовать цвет, а также их компьютеризировали.

Кислородные концентраторы, история появления которых началась в середине XX века, получили быстрое развитие и ныне широко используются даже в быту. В 1958 инженерами космического агентства NASA, перед которыми стояла задача получить устройство для снабжения людей кислородом в космосе, разработали технологию молекулярной адсорбции. Ключевыми характеристиками аппаратов, работающих на основе этой технологии, были простота и безопасность.

3. Анализ работы оборудования

Аппараты ИВЛ могут быть ручными и электронными. В ручном варианте используется мешок АМБУ, при периодическом сжатии которого происходит искусственная вентиляция легких. В электронных моделях за все отвечает управляющий блок. Современный аппараты ИВЛ состоит из двух основных блоков: управляющего и исполнительного.

Управляющий блок - это совокупность системы управления и визуального мониторинга работы аппарата ИВЛ. Современные модели, как правило, оснащены компьютерными модулями. Некоторые модели имеют датчик контроля за качественным составом выдыхаемого воздуха. Устаревшие модели вместо полноэкранного табло имеют прозрачные цилиндрические трубки со шкалой, некоторые модели снабжены манометром, благодаря которым осуществляется контроль за показателями давления и скоростью газов. [5]

Исполнительный блок включает в себя такие элементы, как:

- Баллон (баллоны) для газов, которые находятся под давлением. Баллоны обязательны для портативных аппаратов ИВЛ, стационарные устройства снабжены камерой высокого давления с выходами для подключения более емких баллонов или центральной системе газов больницы.

- Регулятор скорости потока – винтовой механизм, который изменяет диаметр отверстия трубки, идущей от баллона к другой камере.
- Камера разрежения и смешивания газов – предназначена для их смешивания.
- Клапан воздуха – обеспечивает одностороннее движение газов к дыхательному контуру через увлажнитель и бактериальный фильтр, между которыми ставится дополнительный клапан.
- Дыхательный контур – это U-образная трубка, один из концов которой идет к пациенту (маске, дыхательной трубке, трахеостоме), а другой обеспечивает выход воздуха из легких. Выдыхаемый воздух может идти либо в окружающую среду, либо в специальную отводящую систему. При первом варианте это открытый дыхательный контур, во втором закрытый.

На сегодняшний день наркозный аппарат конструируется в зависимости от профиля медицинского учреждения, потому что для некоторых отраслей создаются специальные модули, которые рассчитаны на потребности определенной анестезиологической службы.

Современный наркозно-дыхательный аппарат состоит из таких блоков, как: дозиметр газов, источник газов (баллоны), и дыхательный контур.

Наркозно-дыхательный аппарат принцип его работы: баллоны с газами через понижающие редукторы и дозиметры подключаются к прибору. Через испаритель с жидкими наркотическими веществами газы направляются в дыхательный контур. Механическое устройство и система клапанов обеспечивает циркуляцию смеси по контуру только в одну сторону. Помимо функции подачи кислорода, наркозно-дыхательное оборудование осуществляет функцию искусственной вентиляции легких пациента во время проведения операции. [6]

Дефибриллятор состоит из двух блоков: накопительного и электродного. В первом накапливается электрическая энергия, преобразуется с одновременным повышением напряжения. Второй является устройством вывода, накопленного в первом блоке, электричества.

Дефибрилляторы разделяются по количеству электродов, на одноканальные и многоканальные приборы. Одноканальный прибор имеет один электрод, подающий разряд к организму. Многоканальные приборы имеют два электрода, чей общий вектор направлен в одну сторону.

Современные приборы могут быть оснащены дополнительными функциями, такими как:

- Синхронизатор – помогает разряду приходиться в точно определенное время сердечного цикла.
- Электрокардиомонитор – записывает электрокардиограмму вне разряда, помогает отслеживать эффективность работы дефибриллятора.

Монитор пациента - обязательное оборудование для медицинского учреждения с операционным блоком. Необходимо использование монитора пациента для постоянной диагностики и контроля важнейших параметров жизнедеятельности больных с осложнениями либо оперируемых пациентов. Мониторы пациента в разы облегчили контроль за пациентами, находящимися в отделении интенсивной терапии или реанимации.

Комплектация монитора пациента может включать в себя:

- Встроенный аккумулятор;
- Термопринтер;
- НИАД (датчик неинвазивного артериального давления) и частоты пульса;
- Датчики температуры тела;
- Датчики частоты дыхания;
- Пульсоксиметр;
- Капнограф;
- Несколько отведений ЭКГ;
- Автоматическая программа расчета фармакологических доз и анализа ST сегмента и аритмий;

Монитор пациента, как правило, имеет жидкокристаллический дисплей, на который выводится все основные показатели состояния пациента. В случае отклонения от нормы монитор пациента оповещает мед пер-

сонал для своевременных мер. Также при помощи значений показаний монитора пациента есть возможность проведения профилактических работ.

Принцип работы кислородного концентратора основан на разделении воздуха на чистый кислород, азот и другие составляющие. Во время работы прибора входящий воздух сжимается под действием компрессора, проходит через «молекулярное сито», молекулы азота и примеси адсорбируются, а на выходе получается высококонцентрированная кислородная смесь, содержание кислорода в ней 95%.

4. Тенденции развития и особенности

Перспективными направлениями для разработки средств реанимации является разработка средств, используемых на догоспитальном этапе, что, безусловно, связано с правилом «золотого часа». На догоспитальном этапе применяется комплекс реанимационных мероприятий I стадии. Основные требования к средствам, применяемым на этой стадии: эффективность и достаточная простота использования. За рубежом медицинскую помощь проводят парамедики и полицейские до приезда скорой и что характерно проведения методов II стадии. Хорошим примером служит оснащение транспортных узлов и места с большим скоплением людей дефибрилляторами, воспользоваться которыми может и не медик.

В России вопрос размещения дефибрилляторов в местах скопления большого количества людей только обсуждается. Министр здравоохранения В. Скворцова, сама длительное время работавшая в реанимации, является одним из инициаторов этого предложения. Сложность состоит не столько в дороговизне аппарата (отечественные аналоги стоят на порядок ниже зарубежных), а в необходимости подготовки правового обеспечения такой процедуры. Именно отставание законодательной базы в России тормозит в ряде случаев развитие реанимационного пособия в объеме первой медицинской помощи. Поэтому основные разработки касаются II и III стадий СЛР. Например, система автоматической компрессии грудной клетки LUCAS (рис. 6) предназначена для обеспечения непрерывной ком-

прессии грудной клетки с постоянными частотой и глубиной продавливания грудины. Прибор может быть использован на всем протяжении СЛР, начиная с объема первой медицинской помощи.



Рисунок 6 - Автоматический компрессор грудной клетки

Что касается перспективных мировых трендов, наиболее интересной представляется технология обогащения крови кислородом, предложенная в Израиле, которая позволит отказаться от проведения сложных манипуляций, необходимых для восстановления дыхательной функции. Суть метода заключается в том, что больному производится внутривенная инъекция специального заменителя кислорода. Данный метод позволяет обеспечить больному до получаса жизни.

5. Реанимационное оборудование для индивидуальных целей

Неонатальное оборудование [\[1\]](#) предназначено для создания безопасных условий для новорождённых и проведения необходимых лечебных мероприятий. Микроэлектроника помогает регулировать и поддерживать дыхание, сердечную деятельность в автоматическом режиме и оповещает медперсонал в случае малейших отклонений от нормы.

Неонатальный инкубатор (рис. 7) – аппарат для терапии новорожденных, в т.ч. недоношенных детей. Он обеспечивает все необходимые условия для жизни новорожденных – температура, влажность, кислород.



Рисунок 7 - Неонатальный инкубатор

Неонатальный стол [\[1\]](#) – специальное оборудование, предназначенное для создания условий эффективного проведения мероприятий по восстановлению жизненно важных функций у новорожденных и ухода за ними в родильных блоках, палатах интенсивной терапии новорожденных и отделениях реанимации. Неонатальный стол (рис. 8) обеспечивает автоматический регулируемый обогрев ребенка инфракрасным излучением и экстренную кислородотерапию.



Рисунок 8 - Неонатальный стол

Пульсоксиметр (рис. 9) – медицинский контрольно-диагностический прибор для измерения уровня насыщения кислородом капиллярной крови.

В основу метода отслеживания положено два явления. Во-первых, поглощение гемоглобином света двух различных по длине волн; меняется в зависимости от насыщения его кислородом. Во-вторых, световой сигнал приобретает пульсирующий характер, проходя ткани, при каждом сердечном сокращении. Пульсоксиметр имеет датчик, в котором находится источник света двух длин волн – 660 нм («красный») и 940 нм («инфракрасный»). Степень поглощения зависит от насыщения кислородом гемоглобина.



Рисунок 9 - Пульсоксиметр

Заключение

Во время проделывания работы было изучена история, принцип работы и особенности реанимационного оборудования, используемого в современной медицине при проведении мероприятий, соответствующих сфере применения данной техники. Кроме того, рассмотрены аппараты для индивидуальных задач как для амбулаторного лечения, так и для стационарного. В качестве реанимационного оборудования было рассмотрено неонатальное оборудование, дефибриллятор, мониторы, выполняющие различные, но, тем не менее, важные функции при реанимации. Внимание уделено так же такому виду реанимационного оборудования как кислородный концентратор, которому не всегда уделяется внимание, но, тем не менее, не маловажен.

Функции, которые выполняет концентратор, подчеркивают значимость и необходимость использовать аппарат в реанимационных блоках.

Данная работа позволила создать, обобщить субъективно значимые знания по данным видам оборудования, систематизировать ранее полученные знания из различных научных источников.

Литература

1. Современное реанимационное оборудование: тенденции и особенности [Электрон. ресурс] [1] <https://lektsii.org/9-11831.html> (дата обращения 12.12.2021)
2. Сумин С.А., Шаповалов К.Г. Анестезиология-реаниматология. Том 1. / М.: Изд-во Медицинское информационное агентство, 2018.
3. Лебединский К. М. Основы респираторной поддержки. / СПб.: МАПО, 2006.
4. Венсан Ж.-Л., Абрахам Э., Мур Ф. Руководство по критической медицине. Том 1. 7-е издание. / М.: Изд-во "Человек", 2019.
5. Горячев А.С., Савин И.А. Основы ИВЛ. 8-е издание. / М.: Издательство: БИНОМ; 2019.
6. Дж. Эдвард Морган-мл., Мэгид С. Михаил, Майкл Дж. Марри Клиническая анестезиология / Изд. 4-е / Перевод с английского под редакцией канд. мед. наук А.М. Цейтлина: М.: Изд-во БИНОМ, 2018.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОНКОЛОГИЕЙ

А.А. Цырендондоков (ред. Д.И. Тронин)

Термины и определения

Инвазия - это процесс распространения раковых клеток посредством прорастания опухоли через базальную мембрану.

Метастазирование - процесс образования вторичных очагов опухолевого роста в результате распространения клеток из первичного очага в другие ткани.

Метастаза - отдалённый вторичный очаг патологического процесса, возникший при перемещении вызывающего его начала (опухолевых клеток, микроорганизмов) из первичного очага болезни через ткани организма.

Резекция - хирургическое вмешательство, направленное на удаление пораженных болезнью тканей, органов или анатомических образований.

Эктомия - полное удаление органа или чётко определённой анатомической части тела.

Комбинированное лечение - использование двух принципиально разных методов.

Комплексное лечение - использование трёх принципиально разных методов.

Трансдукция - передача ДНК между бактериальными клетками. Векторы - генетическая ДНК, реже - РНК, которую изменили определённым образом для своих целей.

Диссеминированный - широко распространённый в каком-либо органе (органах) или во всем теле человека. Данный термин может применяться по отношению к болезнетворным микроорганизмам или различным патологическим изменениям в организме человека.

Фотосенсибилизирующий агент - вещество, способное под оптическим облучением генерировать кислород в высоких концентрациях.

Паллиативные цели - улучшение качества жизни людей, страдающих от неизлечимых заболеваний.

Введение

Главной целью данного реферата является обеспечение человека, обладающего только общими знаниями о онкологии и методах борьбы с ним краткой и понятной информацией.

Актуальность проблемы обусловлена огромным количеством информационного мусора, распространённого в интернете, который в большинстве случаев не позволяет человеку быстро получить нужную информацию о современных методах борьбы с онкологическими заболеваниями, что иногда может приводить к неприятным, а в некоторых случаях и печальным последствиям.

Новизна темы заключается в развитии медицины и в частности методов борьбы с онкологическими заболеваниями.

Таким образом можно составить следующие цели:

- 1) найти, обработать и обобщить информацию об онкозаболеваниях;
- 2) найти, упростить и объяснить понятным языком информацию о методах борьбы с онкозаболеваниями.

1. Что есть онкология

Краткое описание

Онкология это раздел медицины, что изучает доброкачественные и злокачественные опухоли, механизмы, а также закономерности их возникновения и развития, методы их профилактики, диагностики и лечения. Для упрощения, рассматривают только злокачественные опухоли, называя это “раком”. Раком являются злокачественные опухоли, в случае которых происходит бесконтрольное деление клеток, сопровождающееся инвазией в подлежащие ткани и метастазированием в отдалённые органы с током лимфы или крови. Учёные относят к раку только карциномы – опухоли, произрастающие из эпителиальных тканей. Другие опухоли назы-

вают саркомами, злокачественные образования лимфатической системы - лимфомами, а кроветворной - лейкозами.

Часто онкологию воспринимают как смертный приговор, однако в реальности не все злокачественные опухоли приводят к гибели. Большая часть людей вылечивается и эти люди забывают о заболевании.

Даже учитывая всё это, данная патология характеризуется высоким уровнем летальности, также стоит отметить сложность успешного лечения, для чего требуется надсмотр высококвалифицированного доктора.[1]

Классификация

Классификацией обозначим стадии рака:

1. 0 стадия, она значит, что злокачественная опухоль есть, она имеет небольшие размеры, она находится там, где возникла изначально и не прорастает в соседние ткани. Это самая безобидная стадия, такую опухоль достаточно просто удалить.

2. I стадия, злокачественная опухоль имеет небольшие размеры, находится в пределах одного органа. Такие новообразования называют "раком на ранней стадии". Лечится относительно просто, пятилетняя выживаемость приблизительно равна 100%.

3. II стадия, злокачественная опухоль имеет большие размеры по сравнению с I стадией, глубже прорастает в ткани органа, однако не распространяется за его пределы. При некоторых онкологических заболеваниях уже на II стадии "раковые" клетки распространяются в лимфоузлы.

4. III - опухолевые клетки, распространившиеся за пределы органа, в которых изначально возникли. Опухоль распространяется на соседние органы, либо в региональные лимфоузлы.

5. IV стадия это опухоль с отдельными метастазами. В таких случаях выживание стоит под вопросом, как правило, ремиссия невозможна. Иногда IV называют V, если считать что 0 это I.

Иногда к стадиям приписывают латинские буквы А, В, С. [2]

Основная проблематика борьбы с онкологией

Первоначальной и главной проблемой борьбы с онкологией является диагностирование. Можно сколько угодно говорить о заслугах совре-

менной медицины, но представим ситуацию: в больнице уволился единственный онколог, на его место поставили хирурга, который в лучшем случае примерно знает что следует делать. Таким образом, пока уходит время на установку диагноза, онкология может развиваться.

Второй проблемой является недостаток препаратов. Существуют госконтракты, по которым больницы могут быть обеспечены всем необходимым, если эти контракты были вовремя заключены и если производитель обеспечит нужное количество препаратов. Однако отсюда вытекают 2 проблемы:

- российских аналогов препаратов производят очень мало, их не хватает;
- некоторые инновационные средства, которые уже прошли клинические испытания за границей, недоступны на территории РФ, так как не зарегистрированы.

Третьей проблемой является устаревание препаратов и схем лечения. Взять например новейшую «Таргетную терапию», что позволяет атаковать только раковые клетки, не повреждая здоровые - далеко не во всех регионах РФ используют этот метод.

Ещё одна проблема - врачи боятся сесть в тюрьму. Иногда врачи-онкологи сталкиваются с такой «зарегулированностью» отрасли, что одни приказы взаимоисключают другие, за их неисполнением следуют санкции, которые в свою очередь мешают лечению.[3]

2. Основные методы борьбы с онкологией

Хирургическое лечение. Хирургический метод лечения – один из основных в онкологии. Радикальное удаление опухоли позволяет излечить большинство больных раком на ранних стадиях опухолевого процесса. В зависимости от распространенности опухоли может быть выполнено как удаление только опухоли, так и удаление части органа, так и всего органа иногда – вместе с соседними тканями. Этот метод является «методом выбора» при ранних стадиях злокачественных опухолей.

Химиотерапия. Химиотерапия является наиболее изученным видом лекарственного лечения опухолей. Для её проведения применяют препараты-цитостатики, которые останавливают деление опухолевых клеток путём повреждения их ДНК. Преимущество этого метода в быстрой реализации противоопухолевого Эффекта и относительно низкой стоимости. Однако есть и серьёзные недостатки в лице токсичности и повреждения здоровых клеток. [4]

Лучевая терапия. Лучевая терапия - один из локальных способов лечения онкологических заболеваний, при котором точно подведенные высокие дозы облучения используются для уничтожения опухолевых клеток. Подобное излучение, но в гораздо меньших дозах, применяется при проведении рентгенологических исследований, например, флюорографии, компьютерной томографии и так далее. Для проведения ЛТ применяются рентгеновские лучи, гамма-лучи и заряженные частицы.

Работает по следующему принципу: для деления клетки нужно дублирование ДНК, лучевая терапия повреждает цепочки ДНК за счёт прямого разрушения связей между основаниями ДНК или образования заряженных частиц. Клетки с повреждённым ДНК не способны делиться. Особенностью является не мгновенное действие, опухолевые клетки погибают постепенно. Однако присутствует проблема - повреждаются и здоровые клетки, пусть и не в таких количествах как мутировавшие за счёт большей максимальной переносимой дозы радиации. [5] Аппарат для лучевой терапии представлен на рисунке 1.

Гормональная терапия. Гормонотерапия (эндокринотерапия) это разновидность противоопухолевого лечения, при котором применяются препараты, подавляющие выработку в организме его естественных гормонов или их взаимодействие с рецепторами. В основе лежит принцип того, что некоторые злокачественные опухоли не способны расти независимо от внешних условий, т.е. они зависят от наличия в крови или окружающих тканях гормонально активных веществ. Главным преимуществом данного метода является избирательное воздействие на ткани, которые зависимы от наличия “целевого” гормона, а также относительно низкая

токсичность. Недостатки произрастают из преимуществ - не все опухоли зависит от наличия каких-либо гормонов.[4]



Рисунок 1 – Аппарат для лучевой терапии

3. Новейшие методы борьбы с онкологией

Таргетная терапия. Один из наиболее современных и быстроразвивающихся методов лекарственного лечения. Её принцип основан на воздействии на определенные молекулярно-генетические нарушения в опухолевых клетках, которые стимулируют в них процессы деления и выживания. В настоящее время разработан и внедрен в клиническую практику ряд препаратов, направленных на устранение последствий подобных нарушений.

Стоит отметить, что не все молекулярные нарушения равнозначны для выживания опухолевой клетки. В случае, если таргетный препарат направлен на важное звено жизненного цикла опухолевой клетки, его применение может существенно затормозить их рост, или привести к гибели значительного их количества. Перед назначением большинства таргетных препаратов требуется предварительное изучение опухолевой тка-

ни с целью более глубокого понимания её устройства. Наиболее часто для этого используется иммуногистохимическое и/или генетическое исследование, например, так называемая «флюоресцентная гибридизация *in situ* (FISH)». Проведение дополнительных исследований может потребовать дополнительное время перед началом лечения, однако к этому следует относиться с пониманием, так как неправильное назначение таргетных препаратов может привести к ухудшению результатов лечения и навредить здоровью пациента.

Существенным ограничением «таргетной» терапии является то, что подобные препараты тяжело разрабатывать. Данный процесс иногда требует десятилетий исследований, направленных на изучение биологии опухолевых клеток и поиск подходящих мишеней. Это объясняет их высокую стоимость.[4]

Генная инженерия. Генная инженерия (генная терапия) подразумевает перенос генов, т.е. введения генетических конструкций в раковые клетки или в ткани, которые окружают опухоль. Такая терапия состоит из выделения раковых клеток из человека, встраивания терапевтического “здорового” гена в раковый геном и введение трансдуцированных клеток обратно в организм человека. Для таких целей используют специальные векторы, созданные методами генной инженерии. Как правило, это вирусы, которые выявляют и уничтожают раковые клетки, при этом оставаясь безвредными для здоровых клеток, или невирусные векторы.[6]

Гипертермия. Гипертермия (термотерапия) – вид лечения злокачественных новообразований, при котором для уничтожения опухолевых клеток используется нагревание тканей до относительно высоких температур, как правило, до температуры около 45°C. Практически всегда гипертермия применяется в сочетании с другими методами лечения, как правило, химиотерапией или лучевой терапией. Высокая температура повреждает и убивает опухолевые клетки, делает их более чувствительными к лучевой терапии и некоторым видам химиопрепаратов.

В ряде клинических исследований была показана чувствительность ряда опухолей желудочно-кишечного тракта, дыхательных путей, а также

мезотелиомы брюшины, саркомы и меланомы к действию высоких температур.

Применяются методы как методы локальной гипертермии, при которой нагревается небольшой участок тела, так и более масштабное нагревание, например, нагревание всей брюшной полости (рисунок 2).

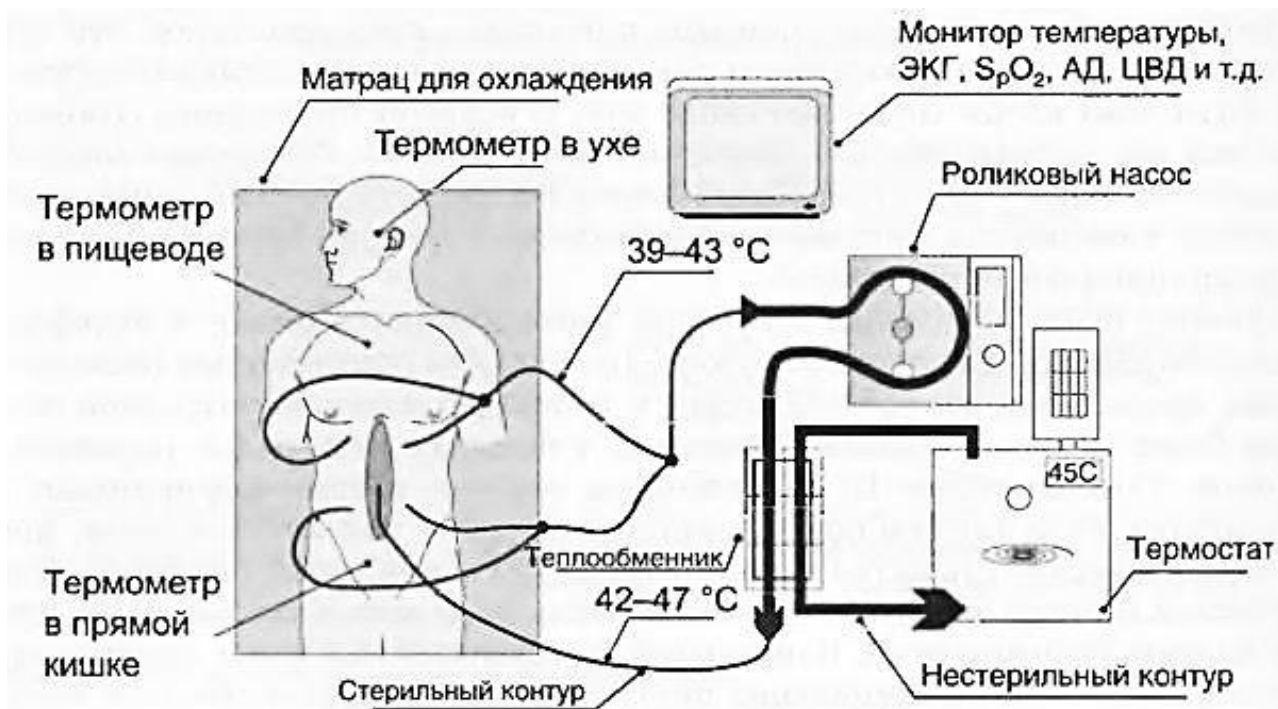


Рисунок 2 – Схема работы гипертермического аппарата

Примером локальной гипертермии является внедренный в клиническую практику метод радиочастотной абляции, при которой для создания высокой температуры в опухоли применяются высокоэнергетические радиоволны. Для воздействия на опухоль в неё вводятся специальные электроды, при помощи которых и осуществляется «передача» необходимой для создания высокой температуры энергии.

При опухолях, диссеминированных в пределах брюшной полости применяется также метод гипертермической внутрибрюшинной химиотерапии, при которых в брюшную полость вводятся растворы высокой температуры и лекарственные препараты. Кроме того, в некоторых исследованиях была показана эффективность высокотемпературной терапии

при использовании гипертермии, создаваемой микроволновым или радиочастотным излучением. [7]

Фотодинамическая терапия. Фотодинамическая терапия (ФДТ) – относительно новый метод противоопухолевого лечения. Его проведение состоит из двух основных этапов. На первом этапе в организм вводятся специальные противоопухолевые препараты, называемые фотосенсибилизаторами, которые на момент введения находятся в неактивном состоянии. После облучения светом с определенной длиной волны фотосенсибилизатор активируется и начинает продуцировать кислород, который повреждает или убивает близко расположенные опухолевые клетки.

Фотосенсибилизаторы проникают как в опухолевые, так и в здоровые клетки, но задерживаются в злокачественных клетках на значительно более длительный срок, чем в нормальных. В течение 24-72 часов после введения фотосенсибилизатора в опухолевых клетках происходит его накопление в достаточном количестве для оказания терапевтического эффекта, вместе с тем в здоровых тканях его содержание становится минимальным. После этого зона опухоли подвергается облучению - при помощи лазера или другого источника света (рис. 3).

Для подведения необходимого света к необходимой зоне могут использоваться различные виды лазеров, так, например, для лечения злокачественных новообразований пищевода и легких используют лазеры, подсоединенные к эндоскопам. ФДТ также проводится в сочетании с другими методами противоопухолевого лечения, например, хирургическим лечением, лучевой терапией или химиотерапией.

Как следует из механизма действия, ФДТ может быть эффективна при лечении поверхностно расположенных опухолей. При помощи данного метода, в некоторых случаях, проводится лечение рака пищевода, немелкоклеточного рака легкого, а также рака кожи. Стоит отметить, что на сегодняшний день применение ФДТ ограничено лечением тех пациентов, чьи опухоли перестали отвечать на стандартные методы лечения или с паллиативными целями (направленными на облегчение состояния паци-

ента), например, восстановление проходимости пищевода при раке этого органа. Кроме того ФДТ используется для лечения предраковых состояний, например таких, как пищевод Барретта (предраковое изменение слизистой оболочки пищевода).



Рисунок 3 – Аппарат для фотодинамической терапии

Основным ограничением ФДТ является то, что свет, как правило, не проникает в ткани на глубину более 1 см. ФДТ является локальным методом лечения и не применяется для лечения метастатического опухолевого процесса, за исключением описанной выше паллиативной помощи.

Фотосенсибилизаторы могут также оказывать негативные эффекты на здоровые ткани, поэтому следует избегать нахождения на солнце, носить защитную одежду и, в некоторых случаях, солнцезащитные очки. [7]

Иммунотерапия. Суть данной методики заключается в мобилизации собственной защиты организма (иммунитета) для уничтожения злокачественных опухолей.

Иммунная система должна самостоятельно распознавать и уничтожать перерожденные клетки, однако они обладают способностью скры-

ваться от обнаружения. В результате иммунитет попросту их не находит, а значит, опухоль продолжает бесконтрольно расти.

Новый класс иммунотерапевтических препаратов тем или иным путем снимает такую маскировку, позволяя естественным защитным силам организма атаковать опухолевые клетки. Этот вид лечения является более эффективным, чем традиционные методы, и имеет сниженное количество побочных эффектов. Эффективность существенно возрастает на III и IV стадиях. [8]

Лазерная терапия. Лазерная терапия является обычным пучком света, точнее лазером. Так как его можно крайне точно фокусировать, в онкологии лазер применяется для удаления опухолей. Аппарат для лазерной терапии представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Аппарат для лазерной терапии

Лазерная терапия применяется для лечения злокачественных опухолей кожи, немелкоклеточного рака легкого, для удаления полипов толстой кишки. Кроме того, она применяется с паллиативными целями, например при перекрытии опухолью просвета трахеи, пищевода, кишки или желудка. [7]

Заключение

Выводы по теме «Современные методы борьбы с онкологией»:

1. Информация о новейших методах борьбы с онкозаболеваниями может помочь больным с выздоровлением.

2. Представленная информация достаточно кратка, чтобы ознакомиться с ней в крайние сроки.

Поставленные цели полностью выполнены.

Литература

1. Сайт «Евроонко». Онкология: что такое рак? <https://www.euroonco.ru/oncology> (дата обращения 04.12.2021).
2. Сайт «Евроонко». Стадии рака. <https://www.euroonco.ru/oncology/stadii-raka> (дата обращения 04.12.2021).
3. Мищук Е. Что мешает лечить рак. 2019. <https://www.currenttime.tv/a/cancer-in-russia/30183770.html> (дата обращения 04.12.2021).
4. Сайт «Ассоциация онкологических пациентов». Химиотерапия. <https://www.russcpa.ru/patsientam/o-rake/khimioterapiya/> (дата обращения 04.12.2021).
5. Сайт «Ассоциация онкологических пациентов». Лучевая терапия. <https://www.russcpa.ru/patsientam/o-rake/luchevaya-terapiya/> (дата обращения 04.12.2021).
6. Буркова И. Генная терапия против рака. 2014 <https://biomolecula.ru/articles/gennaia-terapiia-protiv-raka> (дата обращения 04.12.2021).
7. Сайт «Ассоциация онкологических пациентов». Новые методы лечения рака. <https://www.russcpa.ru/patsientam/o-rake/novye-metody-lecheniya-raka/> (дата обращения 04.12.2021).
8. Сайт «Anadolu». Иммунотерапия. <https://www.anadolumedicalcenter.ru/medical-speciality/immunoterapiya/> (дата обращения 04.12.2021).

ЭКЗОСКЕЛЕТЫ

**М.К. Регентов, В.О. Ястребова, А.С. Сергеев, С.А. Савичев,
В.А. Борисова А.А. Дьякова (ред. Д.О. Изюмцев)**

В данной статье представлена основная информация об экзоскелетах. Целью нашей работы стало изучение принципа действия экзоскелетов, который усиливает физические способности оператора, а также помогает в реабилитации пациентов с различными травмами. Также мы рассмотрели историю создания и виды этого аппарата.

Введение

Физические способности человека не безграничны. Из этого возникает вопрос: “Как же увеличить эти самые способности? Или же как восстановить утраченные вследствие травм?”. Решением этих вопросов занимаются люди, исследующие и разрабатывающие экзоскелеты и протезирование в целом. А мы решили глубже вникнуть в эту проблему, чтобы лучше разобраться.

1. Сферы применения экзоскелетов

Хоть изначально, в начале XX века, первые экзоскелеты предназначались лишь для облегчения передвижения солдат, сегодня экзоскелеты используются не только в военных целях, но и для решения медицинских и промышленных задач.

С момента изобретения первого экзоскелета, называемого «эластипед», прошло уже больше века, современные разработчики ушли далеко вперед, что позволило им найти множество всевозможных способов их применения.

В 2017 году немецкий исследовательский центр Clinatex продемонстрировал экзоскелет, который призван помогать полностью парализованным людям. В Японии же экзоскелеты уже используются для облегчения жизни пожилым людям. Конструкция доступна рядовым жителям

страны, может использоваться в быту и позволяет поднимать вес до 55 фунтов.

Мы же хотим сделать больший акцент на применении этого изобретения в России. Для этого приведём примеры отечественных разработчиков:

В 2011 году учёными НИИ механики МГУ был выигран тендер МЧС на разработку экзоскелета для выполнения задач в аварийных условиях.

После чего начались первые работы по созданию экзоскелетов EchoAtlet, и через 2 года появился первые прототипы. Далее компания переориентировалась на мед задачи. На сегодняшний день главный продукт EchoAtlet — одноимённый экзоскелет, разработанный с целью реабилитации пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата и нервной системы в нижней части тела.

В России существует ещё одна компания, которая специализируется на разработке экзоскелетов, под названием "Simbionix".

Детищами компании являются два экзоскелета: "Компаньон", предназначенный для восстановления двигательной активности людей с повреждениями спины и нижнего пояса конечностей, и Warman, служащий для военно-тактических целей и помогающий в два раза увеличить подъёмную силу и выносливость, при этом устройство выступает и в роли амуниции.

Компании Exorise и Норникель же специализируются на разработке экзоскелетов, которые применяются в промышленности. Устройства помогают увеличить работоспособность, снизить нагрузку на опорно-двигательный аппарат сотрудников.

Рассмотрев лишь несколько мировых и российских компаний, занимающихся разработкой экзоскелетов, мы можем выделить 3 основных направления применения данного устройства: мед задачи; военно-тактические цели; применение в промышленности. [13].

2. Создание экзоскелетов

Экзоскелет – устройство, предназначенное для увеличения силы человека за счет внешнего каркаса. Можно выделить активные (рис. 1) и пассивные (рис. 2) экзоскелеты. Активные экзоскелеты работают по принципу внешнего источника энергии устройства, а механика модели с пассивным принципом работы экзоскелетов основана на использовании кинетической энергии и силы человека. [17]



Рисунок 1 – Пример пассивного экзоскелета Рисунок 2-Пример активного экзоскелета

Создание экзоскелета является сложным процессом, который включает в себя несколько этапов. Этапом, без которого невозможно создание экзоскелета несомненно является изучение кинематики движения человека. В этом случае строится модель положения ног (рис. 3) и описываются уравнения зависимости положения ключевых точек ног от времени.

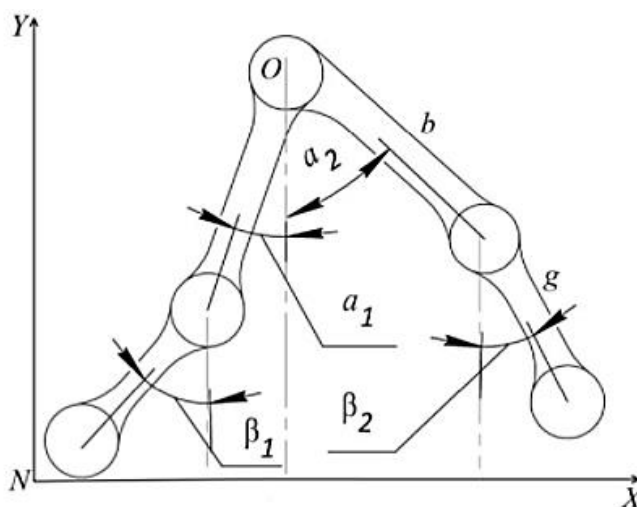


Рисунок 3 - Условная схема шагающего человека [14]

Так же при создании экзоскелета важно знать, как движется все тело человека с течением времени, как он меняет свое положение (рис. 4).



Рисунок 4 – Схема движения объекта [15]

Далее строится наглядная зависимость, график, по которому делаются выводы для дальнейшего исследования и создания экзоскелета (рис. 5). Например, изучая зависимость положения ключевых точек ног от времени, мы можем получить следующую наглядную картину.

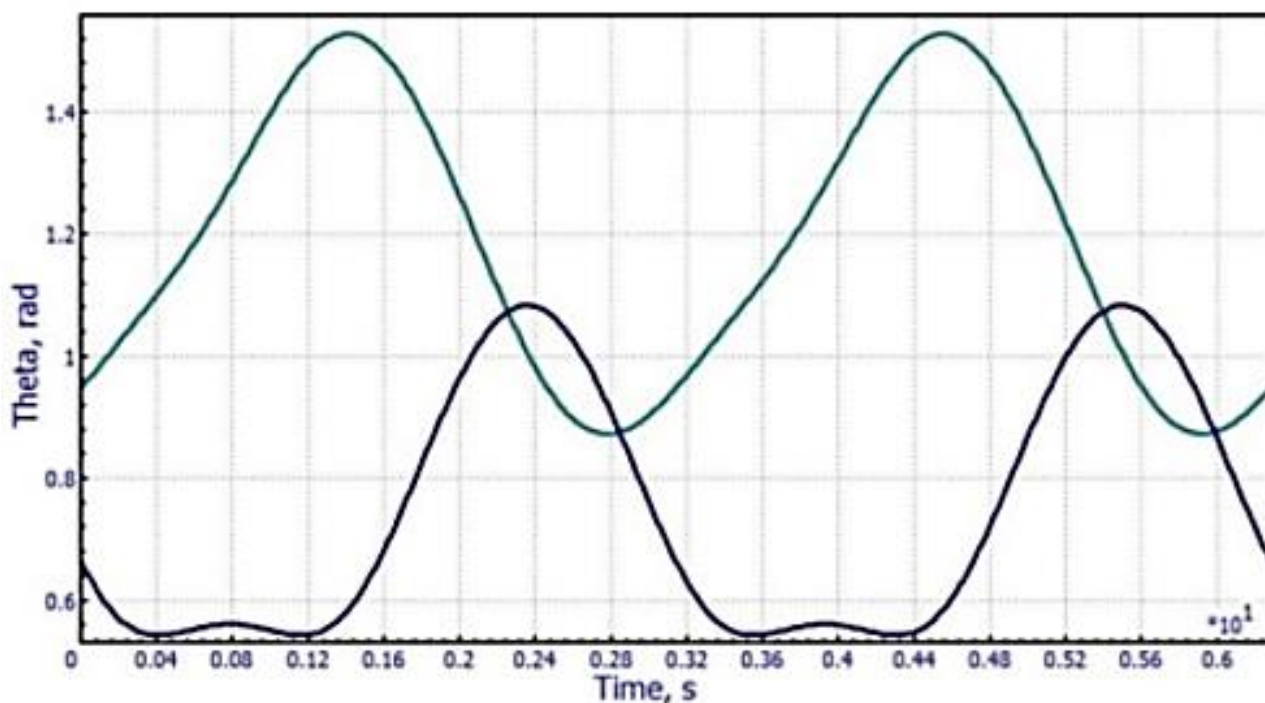


Рисунок 5 - Угловые зависимости от времени в бедренном и коленном суставах ноги [15]

После изучения динамики движения частей тела человека перед нами встает еще один вопрос: как же управлять данным устройством? Ответов на этот вопрос может быть несколько. Одним из них является простой ответ – самим человеком. Приводы в шарнирах экзоскелета должны «брать на себя» основную нагрузку при движениях человека, переносящего «большой» груз. Человек естественно должен сам прикладывать усилия к частям экзоскелета, которые создают моменты в шарнирах этого механизма. Система управления приводами должна быть построена так, чтобы усилия человека, были не много больше тех усилий, которые он развивает при обычной ходьбе, без экзоскелета. [16] Так же экзоскелетами можно управлять с помощью различных программ.

При разработке экзоскелета важно помнить о его внешности (рис. 6). Это может быть громоздкий объект на теле человека, который будет сильно замечен окружающим, но это устройство можно сделать довольно элегантным. Одной из задач, которые стоят перед создателями экзоскелетов, является усовершенствование внешнего вида этого изобретения. Этим часто занимаются дизайнеры, разрабатывая различные чехлы из ткани и кожи, а также пластиковые панели для перекрытия различных частей оборудования. [18]



Рисунок 6 – Примеры дизайнов экзоскелетов [18]

3. Преимущества экзоскелетов

Огромный прирост физических возможностей. Экзоскелеты становятся всё популярнее в различных сферах деятельности — они помогают людям в поднятии и перемещении тяжестей, безопасном выполнении потенциально травматичных или непосильных операций.

Наибольшую популярность имеют экзоскелеты для помощи людям с ограниченными возможностями (рис. 7).



Рисунок 7 – Применение экзоскелетов для восстановления работы ног

Экзоскелет могут использовать те, у кого частично или полностью не двигается нижняя часть тела. Руки должны быть достаточно сильными, чтобы удерживать костыли, которые помогают сохранять равновесие при переносе ноги и управлять аппаратом. Устройство подстраивается под скорость, высоту и ширину шага каждого человека.

Но максимальную продуктивность имеют экзоскелеты, используемые в военной и производственной сфере. Подобные агрегаты способны значительно усиливать человеческие способности.

Они делятся на:

1. Активные.

Активные имеют собственный упор на земле и берут часть нагрузки на себя (рис. 8). Благодаря им повышаются физические возможности – от подъема тяжестей до скорости реакции. Сложная аппаратура схожа с человеческой биомеханикой – она учитывает особенности его анатомии. Эти устройства, обычно с электрическими сервоприводами (также возможно применение пневматики и гидравлики), многократно увеличивают прилагаемую силу воздействия оператора на объекты и его выносливость, так как прилагаемые для управления экзоскелетом усилия минимальны



Рисунок 8 – Экзоскелет нижних конечностей BLEEX

2. Пассивные.

Пассивные экзоскелеты — это устройства, которые не требуют источника энергии для функционирования (рис. 9). Иными словами, отсутствие электроники – вот, в чем главное отличие пассивного экзоскелета от активного.

Принцип их действия основан на базовых законах механики: за счет применения противовесов и рычагов, пассивный экзоскелет перераспределяет нагрузку на части тела. Действие пассивного экзоскелета снижает нагрузку на активные мышцы, в среднем, от 30%.

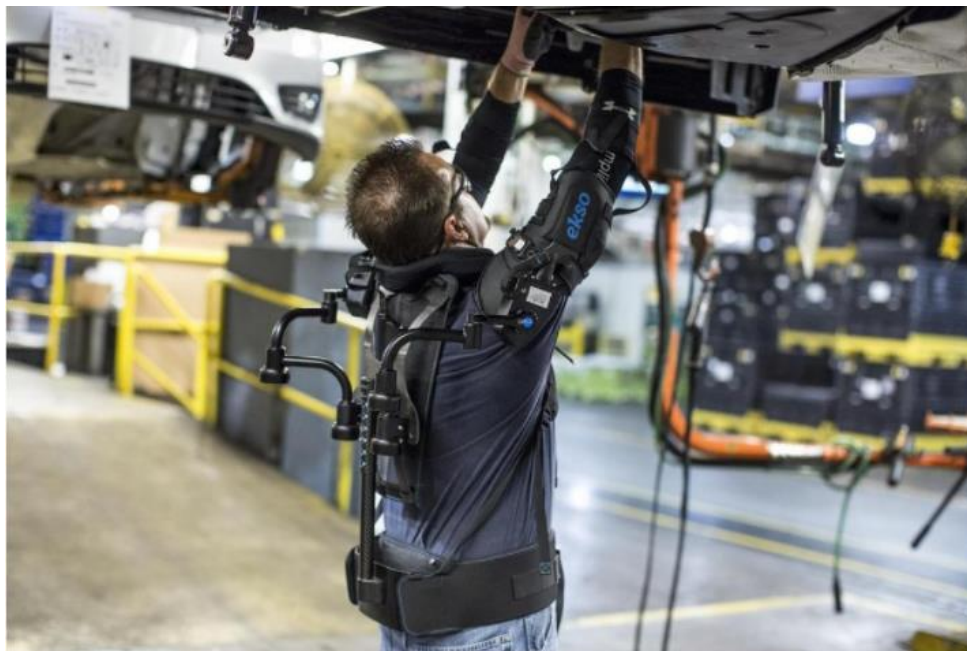


Рисунок 9 – Использование пассивного экзоскелета

Сравнение экзоскелетов и автоматизации

Существует понятие автоматизации. Она может позволить компаниям повысить производительность за счет сокращения ошибок и улучшения качества и скорости, а в некоторых случаях достижения результатов, выходящих за рамки человеческих возможностей. Автоматизация изменит повседневную работу каждого, от шахтеров и озеленителей до коммерческих банкиров, модельеров, сварщиков и руководителей. На фоне всех плюсов автоматизации использование экзоскелетов выглядит нелогично и затратно. Но автоматизация не везде применима, в то время как экзоскелеты могут использоваться практически повсеместно. Человечество всегда будет стараться превзойти свои возможности. В погоне за эффективностью люди создали экзоскелеты, которые могут усовершенствовать человеческое тело. Благодаря этому в производстве и военной промышленности появились новые структуры и функции.

4. Процесс пилотирования экзоскелета

В ИПМ им. М.В.Келдыша РАН создан опытный образец комплекса мехатронных роботизированных реабилитационных устройств для широкого круга пациентов и различной тяжести заболеваний. Для разработки отдельных групп мышц и суставов могут применяться как отдельные устройства, так и весь комплекс. В исходной версии комплекс состоит из следующих устройств: тренажера для разработки голеностопного сустава, модуля для стимуляции стопы, тренажера-вертикализатора и легопулятора (экзоскелета нижних конечностей) человека. В развитой последующей версии к ним добавлен специализированный тренажер ног пациента для легких версий тренажа.

Тренажер голеностопного сустава. Этот элемент комплекса создан на основе медицинского корсета, где свободное движение реализовано на упругом креплении, чтобы обеспечить безопасность и компенсировать расположение под углом корсета с реальным, более сложным и в общем случае не цилиндрическим, шарниром голеностопного сустава человека (рис. 10). При этом различия между физиологическими особенностями конкретных людей компенсируются разными специально разработанными вкладышами в корсет. В качестве привода в шарнире используется двигатель постоянного тока с червячным редуктором. Таким образом, максимальный момент в цилиндрическом шарнире сопоставим с моментом, развиваемым при ходьбе здорового человека. Система имеет обратную связь по углу и может управляться как с компьютера, так и без него, в этом случае управляющая программа находится в памяти контроллера. Предотвращение чрезмерных нагрузок на сустав человека контролируется как программно, так и механически, так как предусмотрена возможность поставить на аппарат верхний и нижний ограничители по углу вращения. Кроме того, от чрезмерных усилий предохраняет специально разработанная система гибкого крепления привода.

Стимулятор опорных зон стопы. Принцип работы стимулятора основан на пневматическом давлении на соответствующие зоны (для каждой стопы их три), которое моделирует реальную ходьбу человека. Ре-

ализовано давление при помощи специальных пневматических упругих камер, управление которыми происходит путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ), что в свою очередь дает возможность выполнить любую наперед заданную функцию давления, вплоть до удара (имитация прыжка). Для безопасности пациентов в модуль включена система регулятор давления – предохранительный клапан, которая обеспечивает безопасное давление на стопу человека (рис. 11).



Рисунок 10 – Тренажер голеностопа, стимуляторы, блок управления



Рисунок 11 – Стимуляторы стопы

Тренажер-полукровать-вертикализатор. Для того чтобы начать процесс реабилитации как можно раньше, можно использовать спинной тренажер-вертикализатор. Этот тренажер имеет конструкцию полукровати и имеет модульную схему. На тренажере установлены регулируемые опоры для крепления к полу и ручки для поддержки пациента. Тренажер легко разбирается и помещается в багажное отделение легкового автомобиля, что позволяет использовать его не только в клиниках, но и в других условиях. В состав комплекса входит также экзоскелет нижних конечностей. На рис. 12 изображена полукровать с манекеном и экзоскелетом. На данный момент на полукровати реализованы три степени свободы: две управляемые и одна пассивная – поворот корпуса вокруг вертикальной оси. Подъемная степень управляется электродвигателем и имеет обратную связь по углу. Кроме функции вертикализации, эта степень используется при отработке имитации движений приседания и т. п. Вторая активная степень поворачивает корпус пациента вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной активной наклонной оси.



Рисунок 12 – Тренажер-вертикализатор и легопулятор-экзоскелет

Тренажер-легопулятор (экзоскелет ног). Для имитации ходьбы человека и разработки нижних конечностей человека создан легопулятор (экзоскелет) ног (рис. 13). Экзоскелет имеет модульную конструкцию, и некоторые шарниры могут быть легко добавлены или удалены для создания более жесткой или плоской конструкции. В базовой сборке экзоскелет состоит из пяти жестких деталей: седла, и креплений к голени и бедру, соединенных между собой пневмоцилиндрами. Большинство пневмоцилиндров крепятся к жестким деталям сборки с помощью двух- или трехступенных шарниров. Таким образом, данная конструкция может иметь шесть степеней свободы у крепления бедра относительно седла и шесть степеней свободы у крепления голени относительно крепления бедра и относительно седла. Таким образом, человек может свободно двигаться, ограничиваясь лишь ходами пневмоцилиндров. На первом этапе для отработки движений на манекене используются пневмоцилиндры небольшого диаметра, чтобы обеспечить безопасность на рабочем давлении 8 Бар. Пневмоцилиндры также легко заменяются, как на аналогичные с иным ходом, так и на цилиндры другого диаметра, что позволит легко и быстро адаптировать конструкцию под любого человека.



Рисунок 13-Экзоскелет ног человека

Полный цикл управления экзоскелетом состоит из нескольких фаз, основные из которых - построение шагательного паттерна (повороты нашего тела при движении, для сохранения направления движения) и исполнение этого паттерна пневмоприводами модуля.

Синтез шагательного паттерна. Методику управления модулями комплекса продемонстрирована на примере легопулятора-экзоскелета, т.к. этот модуль требует наиболее сложного управления.

Для построения шагательного паттерна используется технология, аналогичная методам захвата движения (motion capture в англоязычной литературе). Эта технология основана на наблюдении и видеосъемке технической зрительной системой специальных маркеров, расположенных на теле человека-оператора (экспериментатора). Последующая обработка видеопоследовательности таких кадров дает траектории характерных точек-маркеров, по которым строится паттерн движения человека. Эта технология в начальных экспериментах была существенно упрощена, количество маркеров было сведено к минимальному числу (вплоть до 3-4 маркеров на одну ногу экспериментатора). На рис. 14 показан типовой кадр видеопоследовательности, полученной для построения траекторий движения характерных точек ноги человека. Этот кадр – правый на приведенном поле экрана. В качестве базовой точки для расчета шагательного паттерна принимается некоторая средняя точка голеностопного сустава, ее положение может варьироваться, и это вызывает небольшие флуктуации траекторий шагания, они, однако, не влияют существенно на общий синтез управления. В качестве дополнительной точки шагательного паттерна принимается средняя точка коленного сустава. Эти точки в окне на рис.6 показаны яркими точками В и С (в них находились светодиодные маркеры). Собственно, их траектории и были приняты за шагательный паттерн.

После того, как характерные траектории паттерна и законы движения изображающих точек по ним построены, выполняется их пересчет в законы движения приводных цилиндров аппарата. Этот пересчет выполняется на основании циклического расчета обратной кинематической за-

дачи (ОКЗ) для легопулятора, которая для него не является простым в силу избыточности и сложности его кинематической схемы.

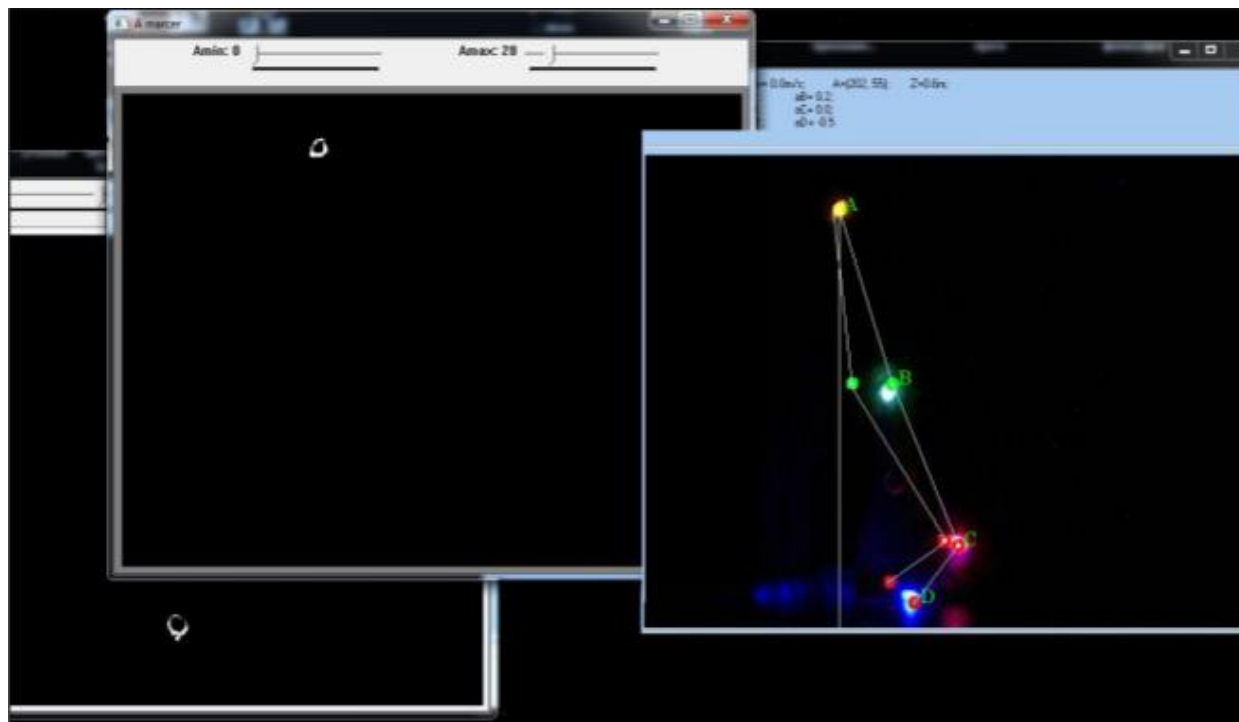


Рисунок 14 – Видеосъемка реальной ходьбы оператора

Учитывая то, что экзоскелеты можно подстроить под любого человека, можно с уверенностью сказать, что пилотировать экзоскелет сможет каждый. Человек сможет свободно двигаться, ограничиваясь лишь возможностями пневмоцилиндров. [7]

5. Развитие экзопротезирования в Российской Федерации

Экзопротезирование зародилось задолго до нашей эры. Первые упоминания о фальшивых конечностях относятся ко временам Древнего Египта (рис. 15). Мало кто задумывался, но палка, которая служила опорой воинам, утратившим ногу в бою, была протезом. В наше время протезирование – это быстро развивающаяся отрасль, которая дает людям возможность почувствовать себя обычным человеком, прожить каждый момент своей жизни без каких-либо ограничений.

Первый механический протез в нашей стране появился в 18 веке (рис. 16), изготовил его Иван Кулибин, но активное производство запусти-

лось только в конце 19 века. В 1883 году в Санкт-Петербурге открылся Мариинский приют для ампутированных бойцов, где инвалиды начали получать протезы рук. В 20 веке филиалы приюта появились во многих городах России: в Москве, Саратове и Воронеже. Данная отрасль очень востребована. По данным статистики, сегодня в России около 40 тыс. человек нуждаются в протезах рук, и 400 тыс. человек — в протезах ног.



Рисунок 15 – Протез в Древнем Египте



Рисунок 16 – Протез Кулибина

Самое важное – дать пациенту изделие с хорошим функционалом, которое способно заменить травмированную или полностью отсутствующую конечность. Такого в России пока не существует. На современном рынке представлены протезы, которые умеют выполнять только самые

простые действия. По отзывам пользователей, большинство предпочтут иностранное изделие, нежели отечественное. Мы надеемся, что скоро это изменится!

6. Цена уже существующих прототипов

Экзоскелеты уже начинают применяться в различных сферах: медицина, производственная работа, военно-промышленный комплекс. В зависимости от сферы применения варьируется и цена. Простейшие промышленные прототипы, облегчающие физическую нагрузку минимум вдвое, стартуют в цене от 30 тысяч российских рублей (по данным Yandex.market) Экзоскелет марки ProEXO разработан для оптимизации процессов на производстве и позволяет выполнять широкий перечень операций, повышая от двух раз производительность труда в компаниях, где используется физический труд.

Экзоскелеты медицинского назначения компании Symbionix стартуют в стоимости от 1.874.000 российских рублей (по данным сайта компании). Обладают широким спектром воздействия на заболевания и позволяют самостоятельно передвигаться даже людям с практически полным параличом тела.

Экзоскелеты военного назначения еще непрочно вошли в ВПК (ВПК-Военно-промышленный комплекс). Поэтому данных о ценах существующих прототипов найти не удалось. Но, проанализировав их огромный функционал и защиту оператора, можно сделать вывод, что их стоимость превышает 5 млн российских рублей.

Заключение

Во многие сферы нашей жизни экзопротезирование уже начинает входить и это явно не конечная точка в их развитии. Их преимущества видны «невооруженным глазом», поэтому их применение широко и очень полезно в современном обществе, ведь облегчает нагрузки на людей на производстве, и помогает восстановить людям способности и конечности, утраченные из-за серьезных травм. Рабочие примеры экзоскелетов были

построены, но широкое применение таких моделей пока невозможно - люди ограничены технологиями своего времени и не существует источника энергии, способного долгое время поддерживать работоспособность модели.

Литература

1. Российский экзоскелет "Компаньон" [Электронный ресурс]-<https://symbionix.ru/ru/product/kompanon.html> (Дата обращения 12.11.2021)
2. Экзоскелет [Электронный ресурс]-<https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзоскелет> (Дата обращения 12.11.2021)
3. Экзоскелеты для боевой экипировки [Электронный ресурс]-<https://topwar.ru/174440-jekzoskelety-dlja-boevoj-jekipirovki-opyt-rossii-i-ssha.html> (Дата обращения 12.11.2021)
4. России начинается выпуск дешевых промышленных экзоскелетов [Электронный ресурс]-https://www.cnews.ru/news/top/2020-09-11_rosteh_nachinaet_vypusk_sverhdeshevyh (Дата обращения 12.11.2021)
5. Экзопротезирование [Электронный ресурс]-<https://medintercom.ru/articles/ehkzoprotezirovanie> (Дата обращения 12.11.2021)
6. Что нужно знать о протезировании [Электронный ресурс]-<http://newtonew.com:81/tech/ot-podporki-do-kibertela-istoriya-i-budushchee-protezoz> (Дата обращения 12.11.2021)
7. Автоматизация vs. Человеческий труд [Электронный ресурс]-<https://hr-portal.ru/article/avtomatizaciya-vs-chelovecheskiy-trud-nastuplenie-prodolzhaetsya> (Дата обращения 12.11.2021)
8. Чем отличается активный экзоскелет от пассивного? [Электронный ресурс]-<https://geekometr.ru/statji/v-chem-otlichie-aktivnogo-ekzoskeleta-ot-passivnogo.html> (Дата обращения 12.11.2021)
9. Практическое применение экзоскелетов в промышленности и строительстве [Электронный ресурс]-<http://www.str-t.ru/reports/19/> (Дата обращения 12.11.2021)
10. Экзоскелеты: принцип действия, конструкция, применение [Электронный ресурс]-<https://top3dshop.ru/blog/exoskeleton-explained-review.html#passivnye> (Дата обращения 12.11.2021)
11. Встать на ноги: как экзоскелеты заново учат ходить [Электронный ресурс]-<https://www.mos.ru/news/item/19140073/> (Дата обращения 12.11.2021)
12. Автоматизация производства [Электронный ресурс]-<https://www.expocentr.ru/ru/articles-of-exhibitions/2016/avtomatizaciya-proizvodstva/> (Дата обращения 12.11.2021)
13. Сферы применения экзоскелетов [Электронный ресурс]-<https://sk.ru/news/ekzoskelet-ne-kostyum-izbuduschego-a-neobhodimost/> (Дата обращения 12.11.2021)
14. Апалеева А. М. Разработка алгоритма исследования кинематики движения человека / А. М. Апалеева // Вестник Амурского государственного университета. – 2012. – № 59. – С. 12-17.
15. Белецкий В. В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. М. : Наука, 1984. 288 с.

16. Формальский А. М. Об одном способе управления экзоскелетом // Ломоносовские чтения : тезисы докладов науч. конф. (16 – 25 апреля 2012, Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова). М.: Издательство Московского университета, 2012. С. 151-152.
17. Воробьев А.А., Засыпкина О.А., Кривоножкина П.С., Петрухин А.В., Поздняков А.М. // Вестник ВолгГМУ, выпуск 2(54), 2015.
18. Создание экзоскелета «Экзоатлет» [Электронный ресурс]- <https://www.artlebedev.ru/exoatlet/process/> (Дата обращения 12.11.2021)
19. Биомехатронный комплекс нейрореабилитации – концепция, конструкция, модели и управление / В. Е. Павловский [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2014. No 111. 19 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-111> (Дата обращения 12.11.2021)
20. Сравнительный анализ возможностей экзоскелета и наноскелета [Электронный ресурс] - <https://pandia.ru/text/80/637/80853.php> (Дата обращения 12.11.2021)

ПРОТОННАЯ ТЕРАПИЯ

**М.Р. Акмалов, Т.А. Ежов, А.С. Лукин, А.А. Фомина,
А.Д. Хлопков, Е.С. Шестерикова (ред. Д.О. Изюмцев)**

В данной статье представлена основная информация о протонной терапии. Целью нашей работы стало изучение принципа действия ускорителя частиц, который используется не только для исследования строения мельчайших частиц, но и для лечения онкологии. Также мы рассмотрели историю его создания, методы лечения онкозаболеваний, а также посетили крупнейший ускоритель своего времени - протонный синхротрон в Протвино.

Введение

С течением времени люди все больше приспосабливали территорию вокруг себя для существования.

В современном мире мы уже не думаем, о том, как подготовиться к охоте и добыть еды, как пережить зиму и где достать ночлег, чтобы защититься от диких животных.

Однако, даже спустя тысячи лет, осталось одна нерешенная проблема человечества, которая угрожает каждому из нас, особенно в такой сложное для нас время. Эта проблема – заболевания. Различного рода инфекции, мутации, которые преследовали нас издавна, до сих пор беспокоят нас.

В нашем проекте мы хотим рассказать о лучевой терапии - новейшем способе лечения такой опасной и, к сожалению, часто встречающейся болезни, как рак.

Для получения обширных знаний в данной теме мы отправились в крупнейший российский центр по физике высоких энергий – Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий» (далее ИФВЭ) в городе Протвино Московской области. Именно здесь ведется исследование лучевой терапии на комплексе для ускорения протонов и ионов углерода, о чем сейчас и пойдет речь в нашей статье.

1. Синхротрон

Адронный коллайдер и синхротрон

Синхротрон, или же по-другому ускоритель элементарных частиц, это приспособление для ускорения частиц до определенных скоростей, близких к скорости света, однако в ускорителях высоких энергий по мере увеличения воздействия на частицу её скорость стремится к скорости света, но не достигает её. Поэтому физики элементарных частиц обычно думают не в терминах скорости, а скорее в терминах энергии или импульса частицы, обычно измеряемых в электронвольтах (эВ). [1]

Многие привыкли к зарубежному названию ускорителя: «Адронный коллайдер», collide – сталкиваться, hadron – классификация частиц (рис.1). А что такое тогда синхротрон?

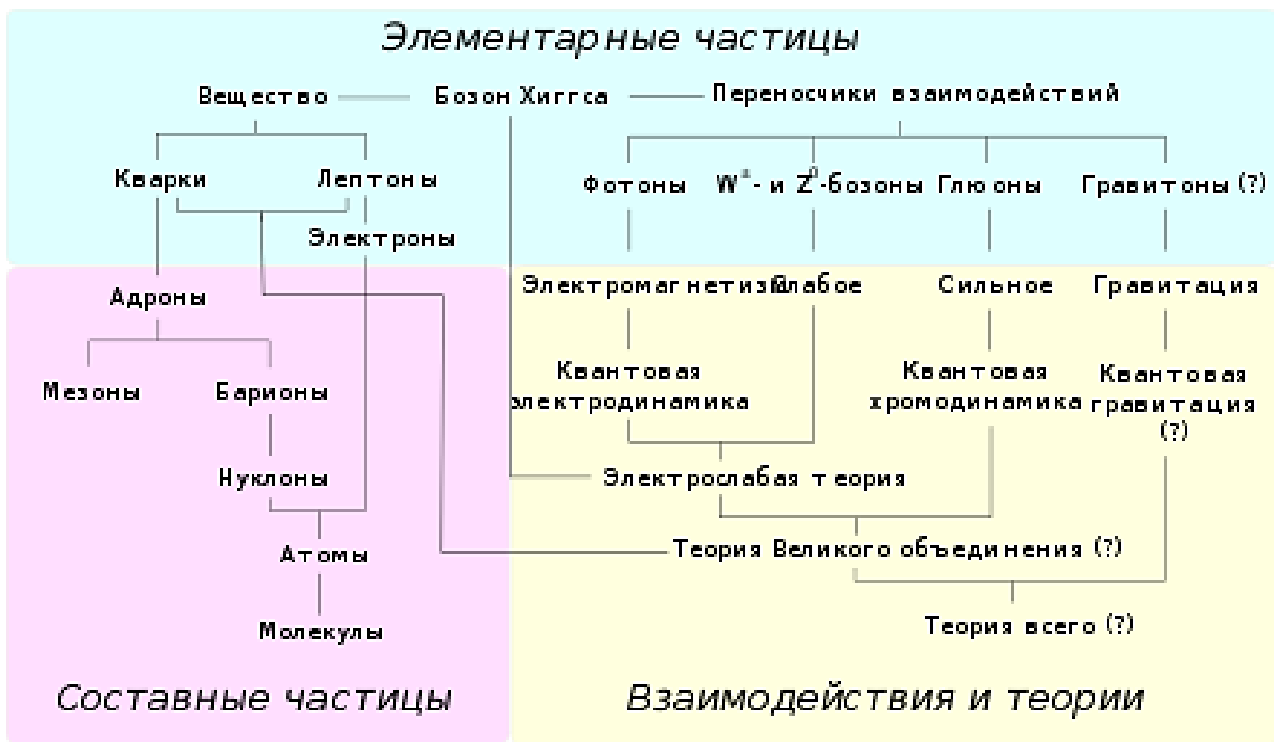


Рисунок 1 - Место, занимаемое адронами в иерархии частиц

На самом деле, и то и другое – ускоритель. Бывают циклические и линейные ускорители, в линейных частица движется по прямой, а в циклическом по окружности. Циклические, в свою очередь, делятся на синхротроны (частицы движутся по кругу) и циклотроны (частицы движутся по траектории, напоминающей спираль). [3] Большинство современных

коллайдеров являются синхротронами — или, как в случае Большого адронного коллайдера, комплексами из нескольких взаимосвязанных синхротронов. [8]

Создание синхротрона

Первый ускоритель частиц был изобретен в 1930 году американскими учеными, а именно Эрнстом Орландо Лоуренсом и Милтоном Стэнли Ливингстоном, наши ученые, конечно, не спешили, но добились очень больших результатов лишь в 70-х на синхрофазотроне в ОИЯИ Дубна. А на синхротроне, который мы посетили, а именно ИФВЭ в Протвино на ускорителе У-70, между прочим, самом большом ускорителе на то время в мире, советские физики добились открытий, которых ранее не было в мире, например: обнаружение ядер антигелия и антитрития, открытие масштабной инвариантности, Серпуховский эффект, установление ряда фундаментальных закономерностей во взаимодействиях субъядерных частиц при высоких энергиях, открытие новых частиц с уникальными характеристиками. Интересно, что после достижений в науке в СССР хотели построить огромный ускорительно-накопительный комплекс, а, чтобы представить его масштаб, достаточно лишь мысли о том, что в качестве первой разгонной ступени выступал У-70, его длина должна была быть 21 км (рис. 2), что меньше БАК на 6 км. Но, к сожалению, настало время 90-х и финансирование прекратилось. [14]



Рисунок 2 - Недостроенный Ускорительно-накопительный комплекс

И все-таки перейдем к сути вопроса, зачем всё это нам нужно? Дело в том, что «Стандартная модель» - теория для элементарных частиц, разработанная в 1975-1985 годах не описывает темную материю, гравитацию и тёмную энергию. Поэтому ученым необходимо разобраться в данной теории, доработать её, а для этого необходимо проводить эксперименты с элементарными частицами для того, чтобы находить отклонения от стандартной модели. Например, на данный момент БАК является самым крупным ускорителем частиц, именно там происходит вся наука. Необходимо провести огромное количество опытов, чтобы добиться результата, а для этого нужны большие вычислительные способности компьютеров. [13]

Такого объема информации не выдержит ни один сервер страны, поэтому, была создана всемирная сеть: «всемирная компьютерная грид-сеть Большого адронного коллайдера», в которую входит 170 вычислительных центров из 36 стран, в том числе и Россия (рис. 3). [15]

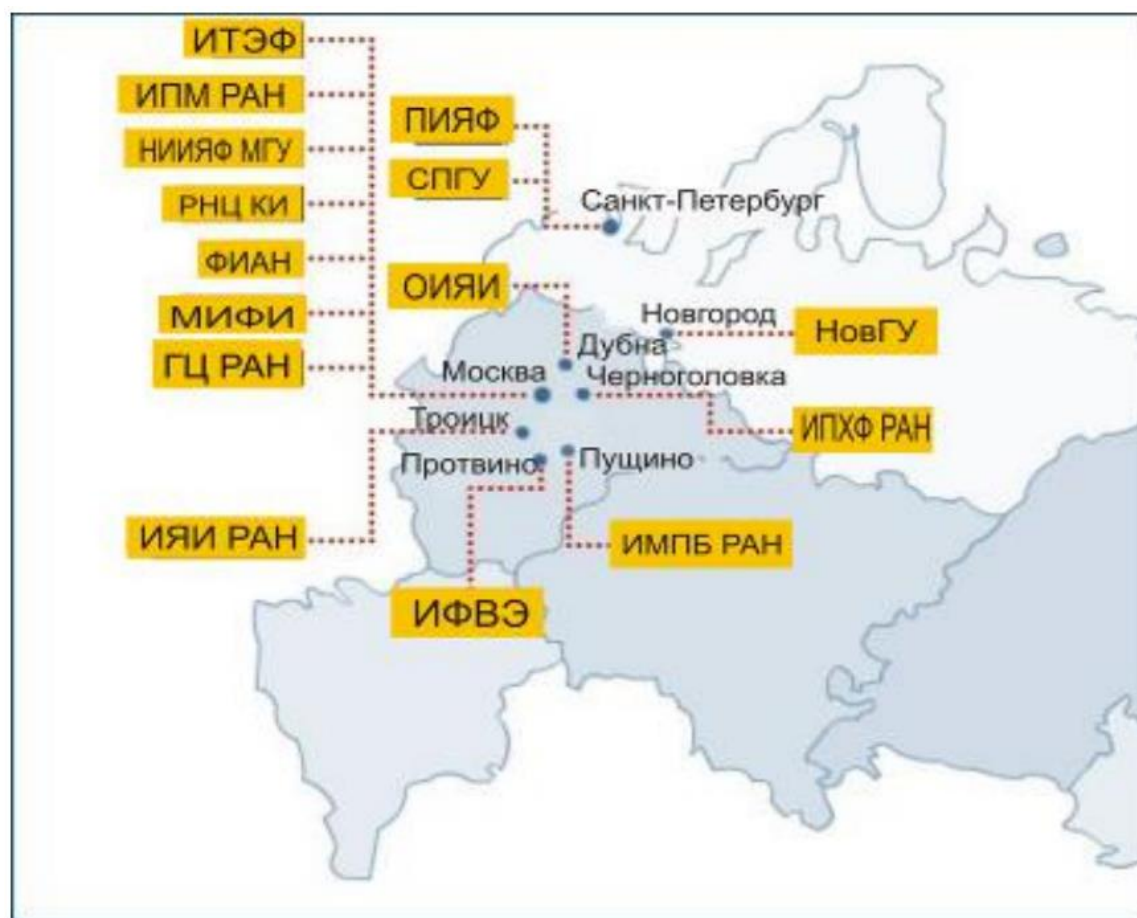


Рисунок 3 - Центры обработки данных для БАК в России

Принцип работы простейшего ускорителя

Как мы уже и говорили ранее, есть линейный и циклический ускорители, их принцип работы практически не отличается, разве что, очевидно, в линейном частица движется по прямой, а в циклическом по окружности.

Начнем с простого. Базовыми законами для ускорения частиц является закон Кулона и Лоренца (рис. 4), элементарная частица является заряженной положительно или отрицательно (заряд q), поэтому мы можем разогнать её электрическим полем, сделав зазор пластинками, поместив частицу в зазор. Так же силой Лоренца, а именно магнитами, мы можем направлять нашу частицу по окружности. [17]

1) $\vec{v} \parallel \vec{E}$



На частицу действует сила Кулона $\vec{F}_e = q\vec{E}$

При прохождении разности потенциалов $\Delta\phi = U$

эта сила совершает работу, изменяя кинетическую энергию частицы

$\Delta E_k = A = qU$ 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж

Сила Лоренца

Сила Лоренца – сила, с которой магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу.



$F_{\perp} = qvB \sin \alpha$
 $F_{\parallel} = qvB \cos \beta$

$F_{\perp} = 0$ если $\alpha = 0^\circ$ ($\beta = 90^\circ$)

$F_{\parallel} = F_{\perp \max} = qvB$ если $\alpha = 90^\circ$ ($\beta = 0^\circ$)



Рисунок 4 - Закон Кулона и сила Лоренца

Теперь чуть-чуть посложнее. Циклотрон – циклический резонансный ускоритель тяжелых частиц. В простейшем циклотроне на рисунке 5 указана принципиальная схема циклотрона. Между полюсами электромагнита (на картинке электромагнитное поле направлено на нас) помещается вакуумная камера, в которой находятся 2 полуцилиндрических электрода, которые ускоряют нашу частицу электрическим полем. В качестве электричества выступает источник переменного тока, именно переменного, так как нам необходимо сменять полярность электродов для разгона частицы. Если бы ток был постоянный, то частица будет описывать спираль, но радиус у неё будет не увеличиваться, а уменьшаться.

Если заряженную частицу ввести в центр зазора (1), то она опишет полуокружность, разгонится в самой щели и, пройдя на вторую часть, электроды поменяют полярность, а электрон разгонится еще сильнее и будет описывать окружность бóльшего радиуса, таким образом, частица

будет постепенно увеличивать свою скорость и радиус (2) (скорость пропорциональна радиусу). С увеличением радиуса частица выходит из циклотрона во внешнюю мишень (4), или же она может, не выходя, направляться во внутреннюю мишень. [3]

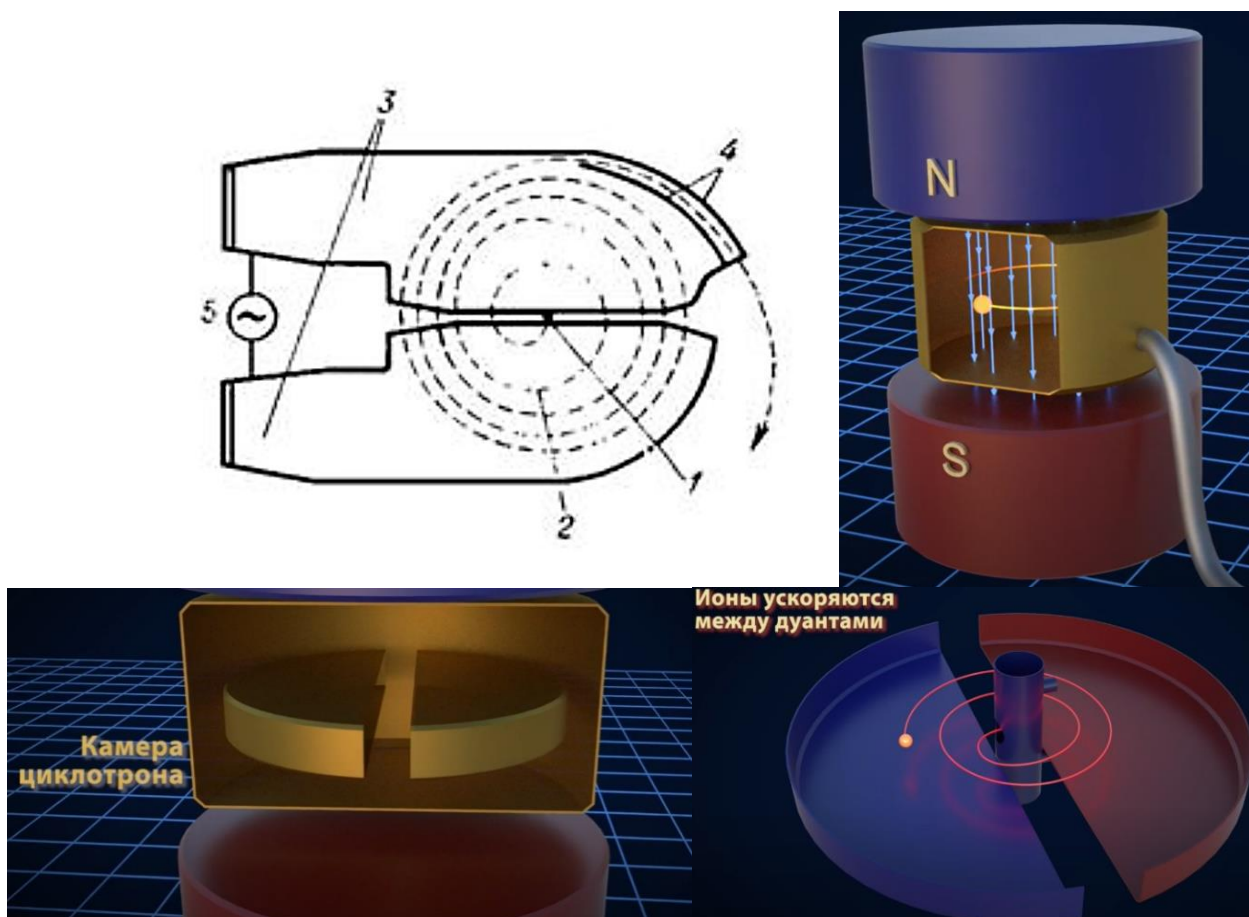


Рисунок 5 - Принципиальная схема и модель циклотрона

Ускорители частиц в ИФВЭ в г. Протвино

Чтобы изучить что-то сложное, необходимо сначала понять что-то легкое, основу. Теперь же можно приступить к тому, чему и посвящена наша статья.

Вашему вниманию представлены таблица 1 и рисунок 6. Всё это – комплекс ускорителей в Курчатовском институте, который необходим для различных научных исследований. Там имеются более 6 установок, на которых можно работать одновременно, так как пучок частиц можно разделить на 6 частей и посредством магнита направить туда, куда нам нужно. [12]

Таблица 1 – Ускорители

Название ускорителя	Тип ускорителя	Предназначение
Урал-30	Линейный	Начальное ускорение протонов до 30МэВ
У-1.5 или Бустер	Быстро-циклирующий	Ускорение до 1.32ГэВ
У-70	Циклирующий	Ускорение до 76ГэВ
И-100	Линейный	Начальное ускорение ионов углерода 100МэВ

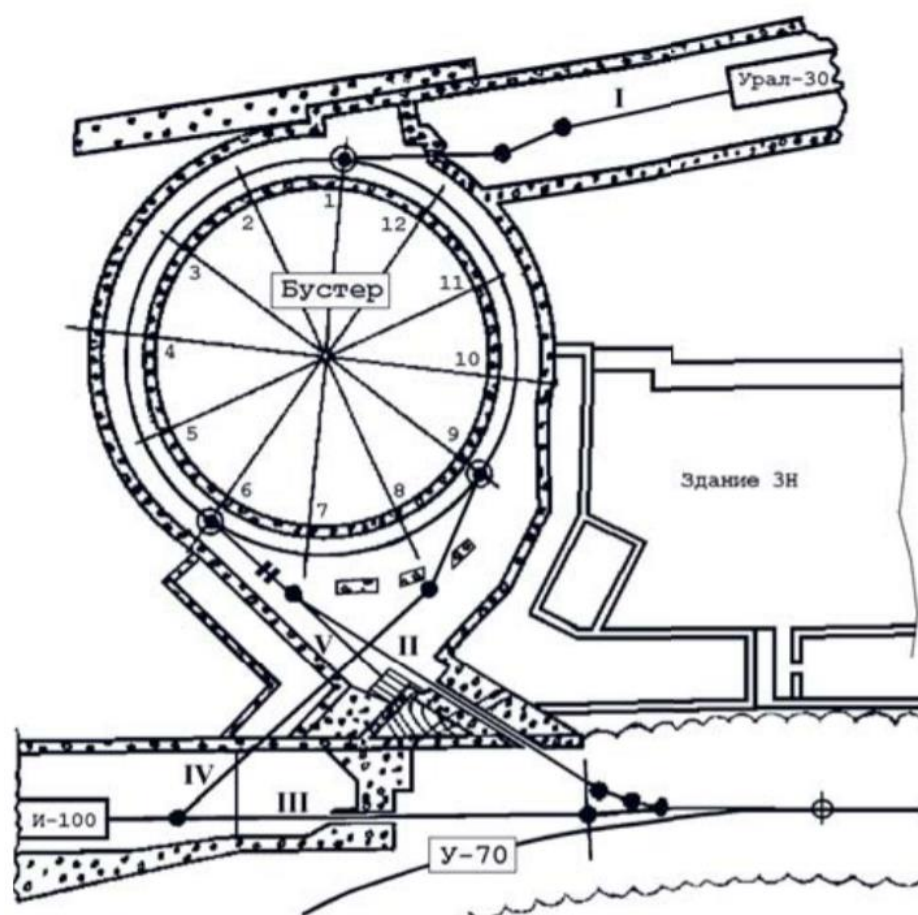


Рисунок 6 – Комплекс Ускорителей

ЦИЛТ

Наш проект посвящен исследованиям в области медицины: «Центр ионной лучевой терапии (ЦИЛТ) на базе ускорительного комплекса У-70».

Для этих целей нам необходим ввод ионов углерода в ускоритель, на это способен только И-100, так как Урал-30 предназначен для других ча-

стиц. Но чтобы их ввести, необходимо их создать, вариант с лучевой трубкой не подходит, так как для того, чтобы углерод ионизировался, необходима плазма с высокой температурой. Поэтому ионы углерода создаются в лазерном ионном источнике (рис. 7). [1]

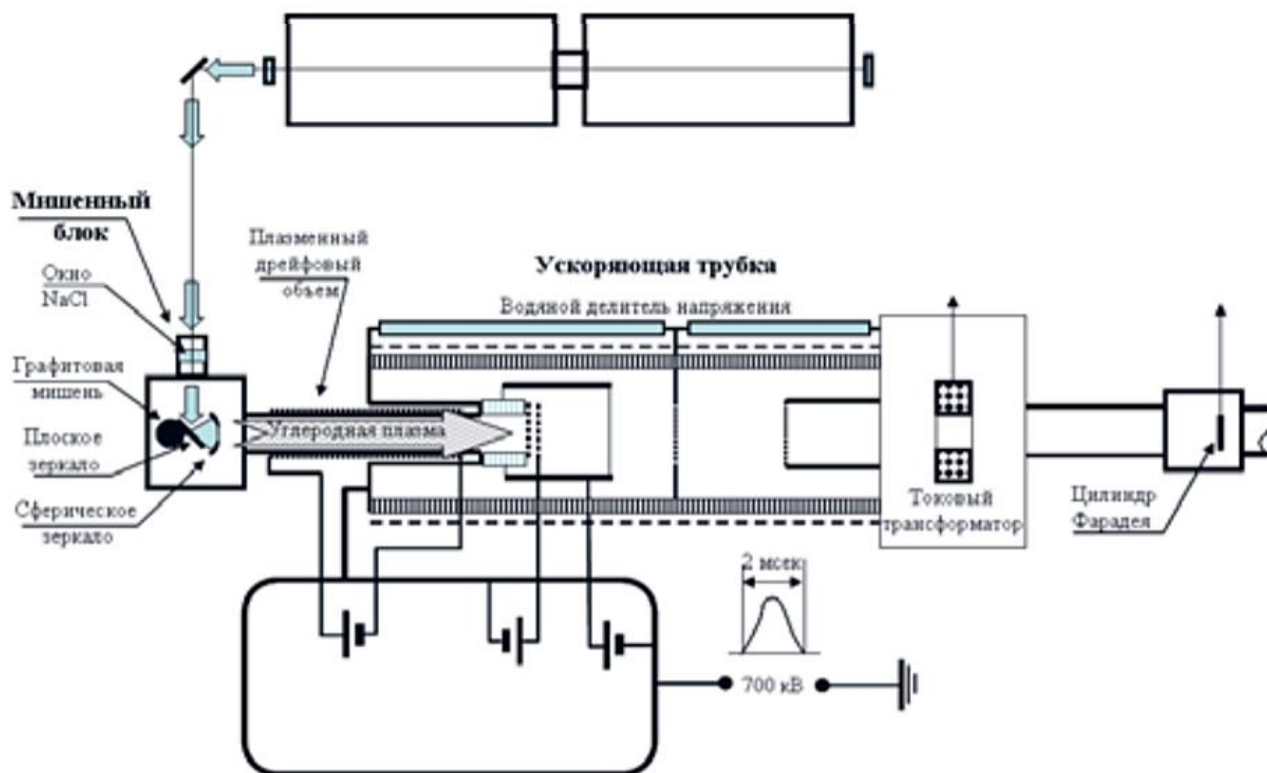


Рисунок 7 – Лазерный источник ионов углерода

Итак, после облучения лазером графитовой мишени, мы получаем необходимую плазму, которая ионизирует газ, после чего мы получаем ионы углерода, которые проходят через цилиндр фарадея для определения интенсивности пучка и его заряда. После чего данный пучок линейно ускоряется в И-100 (рис. 8). [2]

Для линейного ускорения используется резонирующее переменное напряжение, при пересечении электрода полярность сменяется для разгона частицы.

После линейного ускорения пучок попадает в Бустер, который придает пучку огромную энергию.

Бустер действует по резонансному принципу ускорения, то есть циркулирующий сгусток частиц попадает в ускоряющее электрическое поле

ВЧ-резонатора всегда в одной и той же фазе, и частицы получают небольшую порцию энергии, много меньшую, чем уже имеющаяся у них кинетическая энергия. Ускорение частиц происходит за счёт многократного пролёта ($\sim 10^6$ раз в секунду) через ускоряющую секцию. А направление задают магниты.

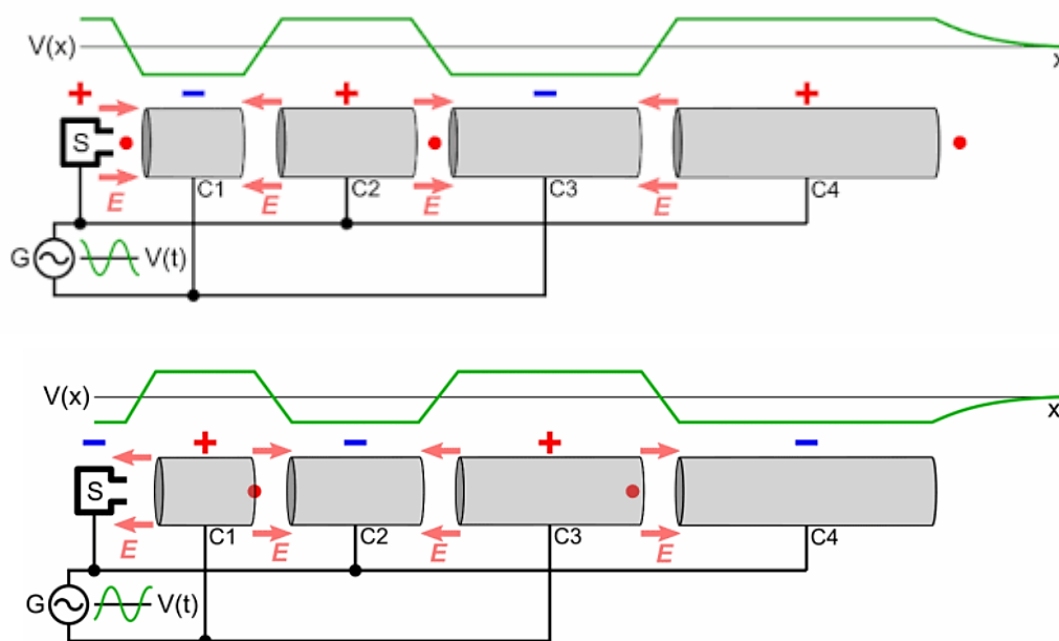


Рисунок 8 – Линейное ускорение положительно заряженной частицы

После необходимого нам ускорения пучок вводится уже в У-70 и после ряда преобразований выводится в тело человека или в мишень. Но для этого нам необходим медленный вывод ионов.

Быстрый и медленный вывод, это, можно сказать, скорость вывода ионов в мишень, тело, любой нужный нам объект. Скорость быстрого вывода примерно 5мкс, а для медленного 1-2 секунды, огромная разница. Такой вывод нам необходим для того, чтобы регулировать дозу, и чтобы успеть прицелиться в раковую опухоль и попасть во все нужные нам участки.

Это проводится с помощью «Мишени Пиччиони». При наведении протонов или ионов углерода на мишень Пиччиони, часть пучка, прошедшая через материал мишени теряет энергию за счет ионизационных по-

терь и через половину периода бетатронных колебаний смещается внутрь кольца.

После мишени с помощью магнитов CM34, OM1, OM2, OM3 пучку задается направление в нужное нам место, а именно на медицинский стол с пациентом (рис. 9 и 10). [1]

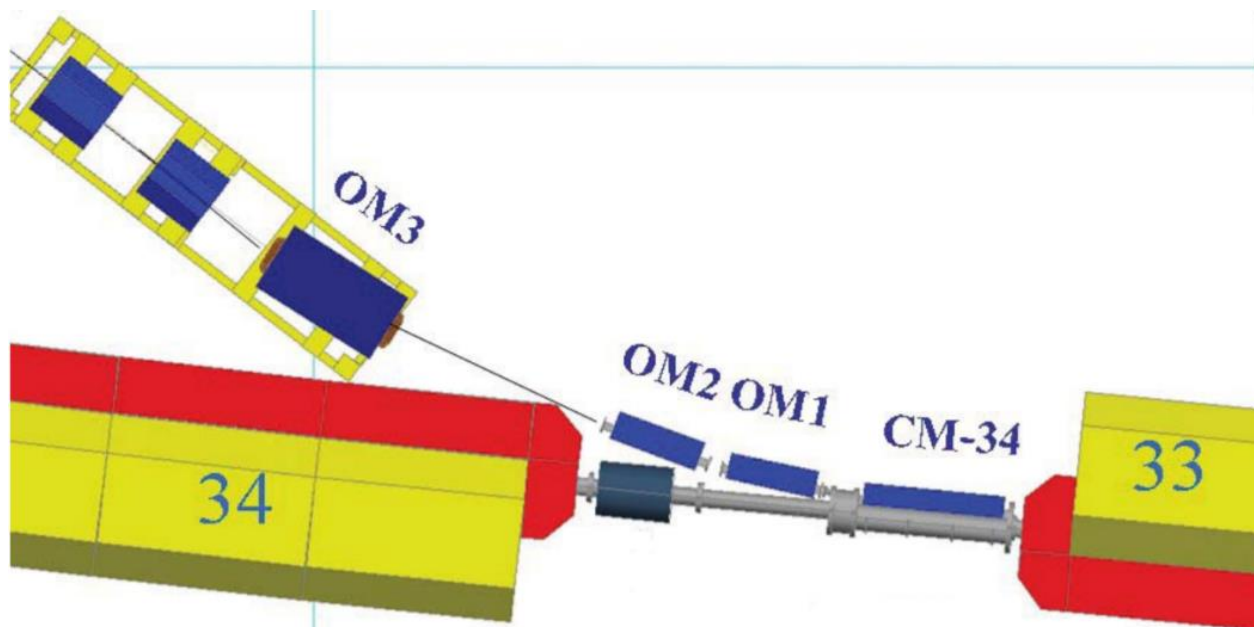


Рисунок 9 - Ответвление от У-70 для медицинских целей

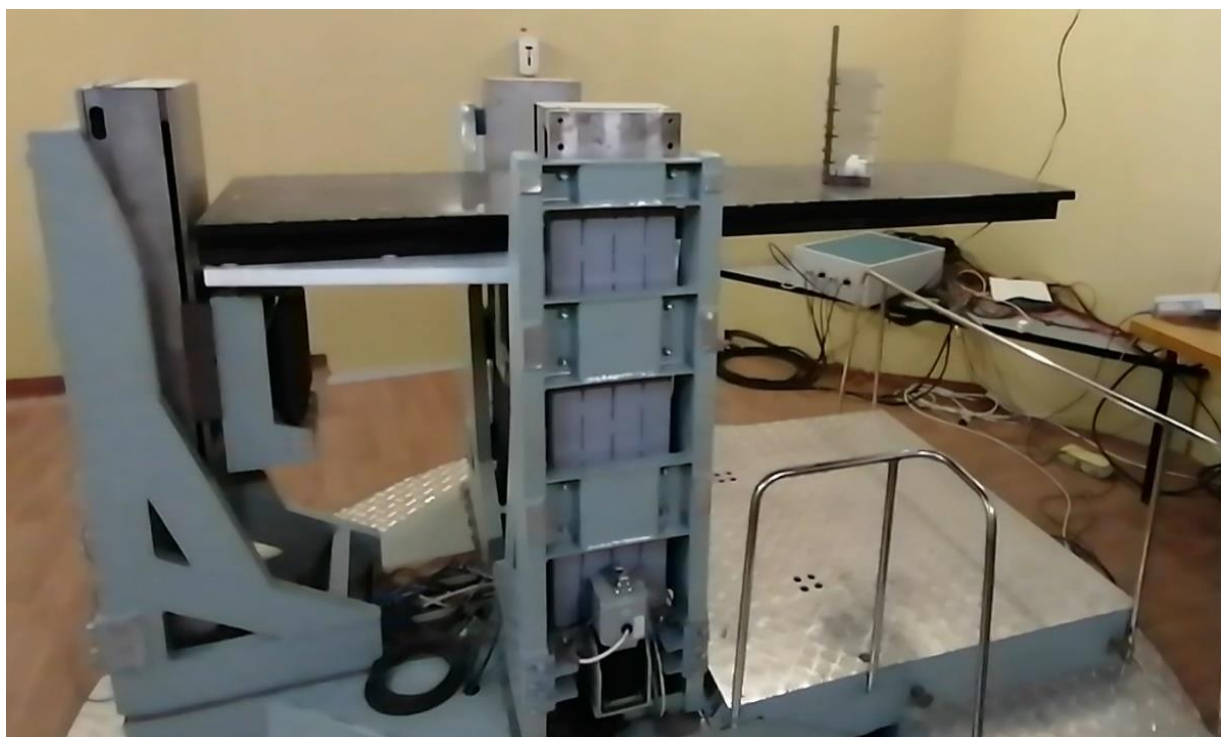


Рисунок 10 – Стол, вращающийся по 6 осям для пациента

Но, прежде чем пучок попадет в пациента, он корректируется более точной аппаратурой с магнитами. Поскольку сейчас здесь еще не проводятся опыты с пациентами, пучок попадает в ионизационную камеру (рис. 11) для регистрации частиц, где на данный момент проводятся испытания.



Рисунок 11 – Ионизационная камера

Данный проект ЦИЛТ необходим для лечения различного вида онкологий. Далее по статье мы выясним, что из себя представляет онкология и как можно лечиться с помощью ЦИЛТ и других средств.

2. Рак

Описание

К сожалению, онкологические заболевания в современном мире встречаются довольно часто. Рак – это злокачественная новообразование, при котором происходит неконтролируемое размножение клеток, и в последующем приводит к метастазированию в другие органы с током лимфы и крови. Многие называют раком любую злокачественную опухоль, на самом деле к раку относят только карциномы – опухоли, произрастающие из эпителиальных тканей. Злокачественные новообразования из других тка-

ней называют саркомами, злокачественные новообразования лимфатической системы называют лимфомами, а кроветворной – лейкозами.

Очень часто пациенты воспринимают свой диагноз как смертный приговор, однако на самом деле не все злокачественные опухоли приводят к гибели человека. Большая часть заболевших благополучно излечиваются и больше никогда не сталкиваются с этим заболеванием.

Так что же такое рак и как он появляется в организме?

Нарушение процессов регуляции тканевого роста является основной причиной возникновения злокачественного новообразования. В результате деления клеток происходит мутация генов. Однако это происходит и в норме, но как правило такие клетки самоуничтожаются. В совокупности некоторых факторов (таких как канцерогенные вещества, ионизирующее излучение, экология, генетика и т.п.) таких клеток становится больше, и тогда, механизмы защиты организма не срабатывают, и мутировавшая клетка начинает бесконтрольно делиться, не подчиняясь функциям организма. В итоге появляется новообразование, которое называют “злокачественная опухоль”.

Рак делится на два типа:

- Местно-распространённый — подразумевает под собой распространение опухоли на соседние органы.
- Метастатический - опухоль, отправляющая раковые клетки в другие ткани с помощью лимфатической системы и кровообращения (рис. 12).

Причем, метастазы могут появиться в любом месте живого организма, даже на большом расстоянии от первичного новообразования. [18]

Существует 4 стадии рака (рис. 13). С помощью системы стадирования онкологических заболеваний можно установить факт и степень распространения рака. Стадии не зависят от локализации опухоли.[19]

- I стадия - опухоль локализуется в пределах органа, из которого она исходит. Опухоль операбельна и резектабельна. Операбельность - понятие, характеризующие возможность операции у госпитализированных больных. Резектабельность – понятие, характеризующее возможность выпол-

нить резекцию органа или произвести его полное удаление. Метастазов не обнаружено. Прогноз благоприятный, выживаемость 70-90%.

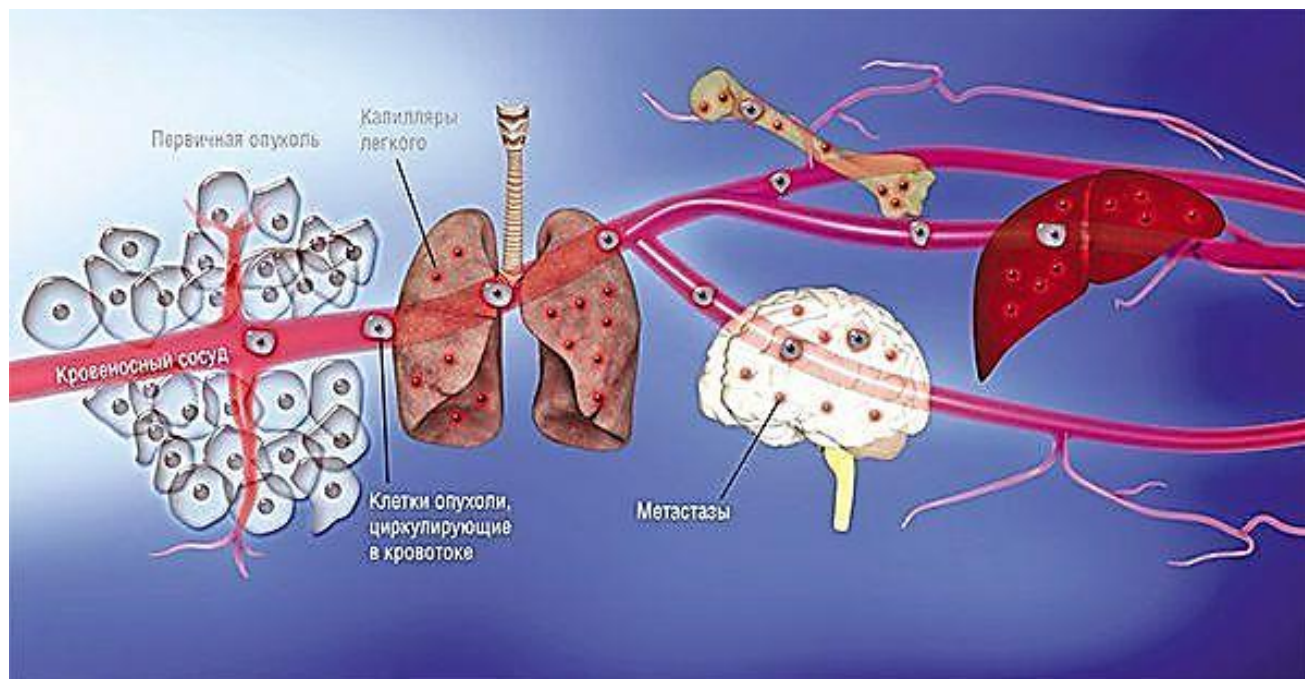


Рисунок 12 – Схема распространения метастатического рака

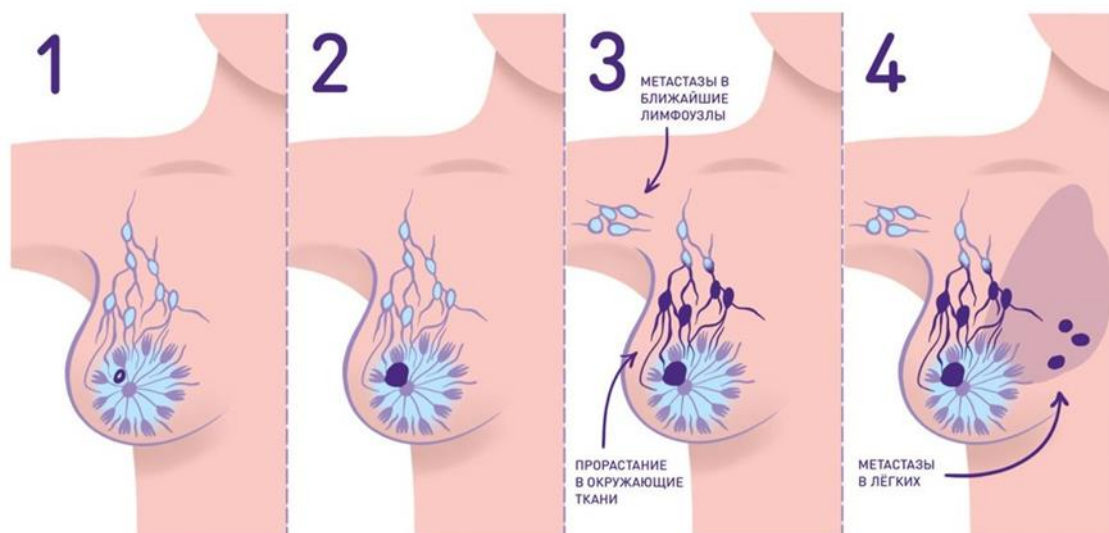


Рисунок 13 – Стадии рака на примере молочной железы

- Стадия II - опухоль локализуется в пределах пораженного органа. Метастазы обнаружены в лимфатических узлах. Опухоль операбельна и резектабельна, но существует вероятность неполного ее удаления. При гистологии наблюдаются признаки микроинвазии "капсулы" и лимфатиче-

ских сосудов. Микроинвазия — распространение опухолевых клеток через базальную мембрану в прилежащие ткани фокусом не более 1 мм в наибольшем измерении. Прогноз менее благоприятный, выживаемость около 50%.

- Стадия III - опухоль больших размеров, прорастает в ближайшие органы и ткани, имеются метастазы в региональные лимфатические узлы. В основном, опухоль нерезектабельна. Прогноз плохой, выживаемость 15-20%.

- Стадия IV - имеются метастазы в отдаленных органах и тканях от первичного новообразования. Независимо от размеров и распространенности опухоли она неоперабельна. Выживаемость стремится к нулю.

Статистика заболеваемости и смертности от онкологических заболеваний достаточно посредственна. По данным ВОЗ за 2020 заболевание выявлено у 19,3 миллионов человек во всём мире. Зафиксировано около 10 миллионов случаев смерти от онкозаболеваний. Ежедневно заболевает более 52 тысяч людей. Ученые предполагают, что в 2040 году будет выявляться 28,4 миллиона новых случаев рака. Это почти в полтора раза больше, чем в 2020 году. [20] Что касается России, в 2020 году показатель онкологической заболеваемости уменьшился на 13,2% в сравнении с 2019 годом и составлял 378,9 случая на 100 тысяч населения. Статистика посредственная, поэтому так необходимо развивать различные методы лечения рака. [21] Существует множество видов терапий онкозаболеваний. [22]

Основные методы лечения рака

- Хирургическое лечение – частичное или полное удаление злокачественной опухоли и пораженных лимфатических узлов. Частичное удаление опухоли повышает эффективность других методов лечения. [22]
- Химиотерапия – противоопухолевое лечение рака с помощью химиопрепаратов, которые уничтожают раковые клетки и тормозят их деление. Действие этих химических препаратов нацелено на быстро делящиеся клетки, поэтому при таком виде лечения могут страдать

некоторые здоровые клетки, такие как клетки костного мозга, кишечника, кожи и волос. [23]

- Гормональная терапия – лечение рака, блокирующее или уменьшающее уровень гормонов в организме, которые прекращают рост опухоли или его затормаживают. Этот вид терапии применяется только в случае гормонально активной опухоли (рис.14). [24]



Рисунок 14 – Признаки гормонально активной опухоли

- Иммунотерапия – раковые клетки имеют способность скрываться от иммунной системы человека. Основная задача этого вида терапии – помочь собственной иммунной системе человека в борьбе с опухолью. Лечение заключается в применении лекарственных препаратов, которые разблокируют иммунную систему человека и заставят активно уничтожать патологические клетки. [22]
- Генная инженерия – лечение рака при помощи введения модифицированных клеток иммунитета, которые способствуют распознаванию клеток опухоли и прицельному уничтожению. Самый известный метод данной терапии это CAR-T терапия. [25]

- Лучевая терапия – метод лечения рака, в основе которого лежит использование высоких доз излучения для того, чтобы уничтожить раковые клетки или уменьшить их объём. В данной терапии используются различные виды облучения, такие как высокоэнергетические частицы или лучи, такие как гамма-лучи и X-лучи, электронные лучи и протоны. Облучение широко используется в клинической практике уже 10-15 лет, но технологии ежедневно развиваются, поэтому мы должны обновить представление о современной лучевой терапии и расскажем об одной из самых эффективных технологий лечения рака – протонной терапии.

Протонно-лучевая терапия (ПЛТ) показана при диагностировании любых типов злокачественных опухолей, чувствительных к лучевому лечению.

Протонная терапия помогает пациентам с солидными опухолями, с четко очерченными границами, этот метод лечения не требует хирургического вмешательства, что делает его идеальным для неоперабельных новообразований. По научным данным протонная терапия при ряде онкопатологий повышает выживаемость в 1,5–2 раза по сравнению с применением обычной лучевой терапии.

Данный метод может быть выбран в качестве альтернативы облучению на радиотерапевтических рентгеновских установках или линейных акселераторах, а также использоваться для разрушения новообразований, которые невозможно облучать на аппаратах другого типа из-за высокого риска развития побочных эффектов. [27]

3. Протонная терапия

Описание и история

Итак, что же такое протонная терапия? Это один из видов лучевой терапии, при которой положительно заряженные частицы проникают в клетки злокачественной опухоли и разрушают её ДНК, тем самым клетки теряют возможность размножаться, следственно опухоль перестаёт расти.

Впервые идею применять протоны в медицине выдвинул ученый-физик Роберт Уилсон (рис. 15) в статье «Радиологическое использование быстрых протонов» в 1946 году.



Robert R. Wilson, PhD

Рисунок 15 – Роберт Уилсон

В 1950 году в США в научно-исследовательском центре ядерной физики были предприняты первые попытки использования протонной радиации для лечения пациентов (рис. 16).

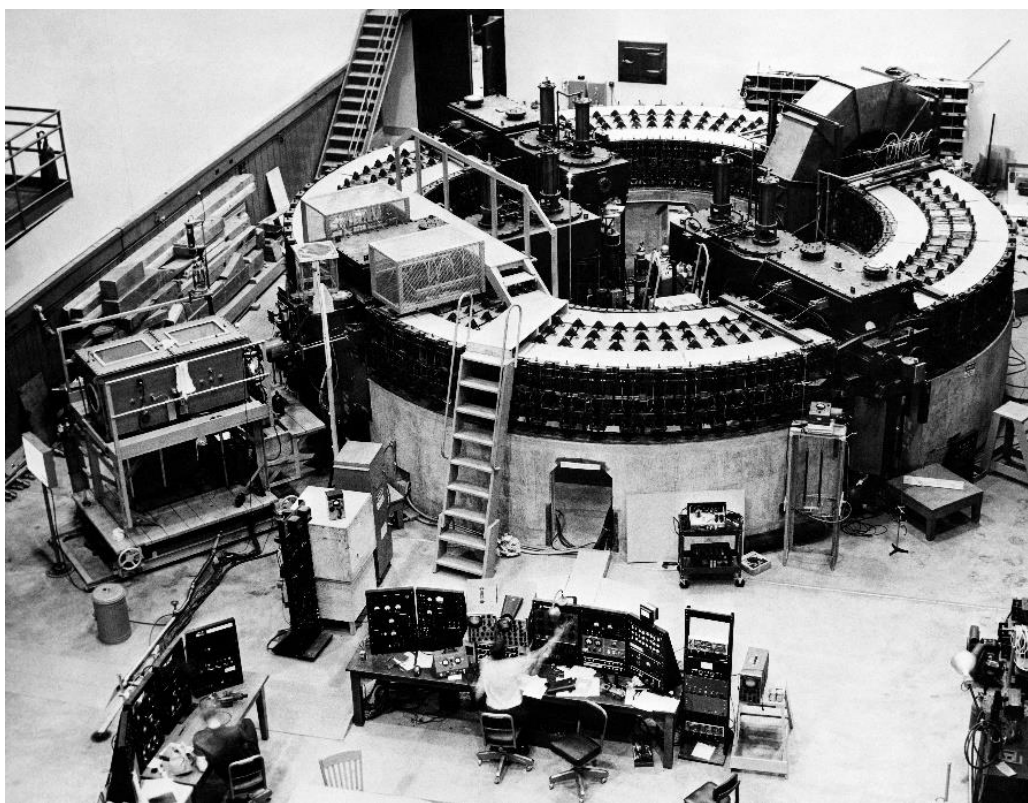


Рисунок 16 – Синхротрон в калифорнийском институте технологий

А в 1957 году такие опыты были проведены и в университете Уппсала, в Швеции. Но в тот момент энергии ускорителей не хватало для проникновения пучка вглубь тела. Сотрудничество между NCL и Центральной больницей штата Массачусетс началось в 1961 году и сподвигло на развитие метода протонной терапии, в течение следующих сорока лет было пролечено 9116 пациентов, а программа ежегодно модернизировалась и улучшалась, вплоть до закрытия циклотрона в 2002 году. Что касается СССР, первый пациент был облучен в 1968 году, помощью ЛЯП ОИЯИ пучка, но так как его энергия (660 МэВ) плохо подходила под требования медицины, поэтому было пролечено 87 пациентов за первые 7 лет, что значительно отличается от результатов других стран. С 2000-х годов протонная терапия широко распространяется во всем мире. В том числе и в России появляются новые экспериментальные центры, специализирующиеся на развитии протонной терапии. [26]

В Физико-техническом центре Физического института им. П.Н. Лебедева в Протвино ПЛТ опухолей головы и шеи осуществляется на медицинском синхротроне отечественной разработки. Пропускная способность — до 100 человек в год.

В научно-исследовательском Медико-техническом комплексе в Дубне установлен исследовательский фазотрон, на базе которого может проводиться лечение не более чем 100 пациентам в год исключительно с научной целью.

Центр протонной терапии на базе Медицинского радиологического научного центра в Обнинске (МРНЦ), ведущее медучреждение РФ по разработке и использованию новых методов лучевой диагностики и лечения. ПЛТ опухолей головы и шеи проводится в тестовом режиме на отечественном комплексе Прометеус, разработанном в ЗАО «Протом» профессором Балакиным. Ежегодно здесь пролечивают порядка 100 человек с опухолями головного мозга и внечерепными новообразованиями головы. Оборудование и технология требуют существенных доработок.

Первый в России и странах СНГ ПЛТ-центр, входящий в структуру Медицинского института им. Березина Сергея (МИБС) в Санкт-Петербурге,

начал работу в 2017 году. Центр протонной терапии в СПб оснащен системой ProBeam™ (Varian Medical Systems) с мощным компактным сверхпроводящим циклотроном, обеспечивающим возможность попеременной подачи протонов в две лечебные комнаты с установками Гентри.

Процесс лечения

- На первом этапе проводится полное обследование пациента, на основании которого определяется очаг заболевания, общее состояние организма и дальнейший процесс лечения. Только после полной диагностики заболевания можно определить, целесообразно ли проведение протонной терапии в данном случае.
- Второй этап - начало предварительной подготовки, в процессе которой необходима 2-3 раза посетить больницу в целях подготовки иммобилайзера (рис. 17) (индивидуальное средство фиксации пациента в неподвижном положении). На процесс изготовления требуется не более 3-х минут. Далее с помощью готового иммобилайзера проводят компьютерную томографию пациенту, съемки которой будут использованы в дальнейшей подготовке плана лечения.

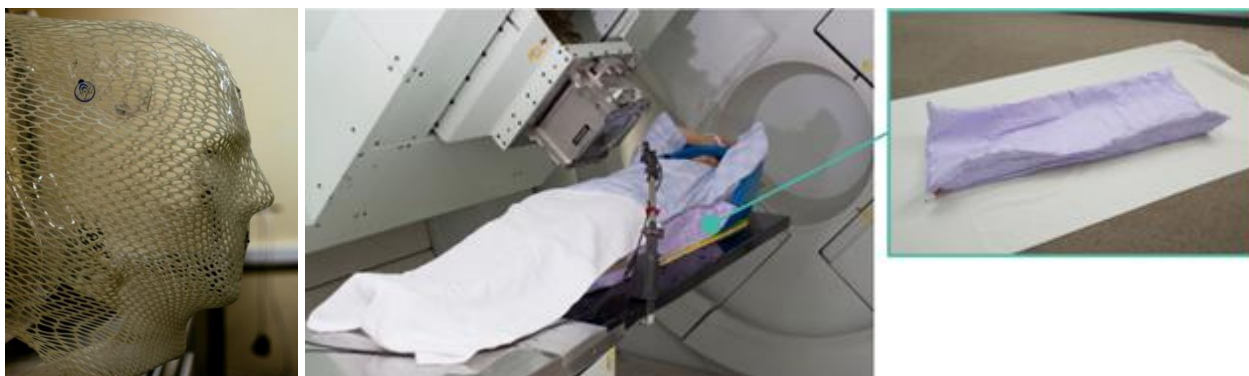


Рисунок 17 – Иммобилайзер

- На третьем этапе учитываются особенности опухоли, и лечащий врач вместе с медицинским физиком используют компьютерную программу, которая рассчитывает глубину, угол, дозу, а также количество сеансов облучения протонами и составляют подробный план лечения. Далее проводится консилиум с участием лечащего врача, медицинских физиков, техников-радиологов и других врачей-

специалистов. Уточняется соответствия плану лечения. Обмениваются информацией насчет пересмотра планов лечения пациентов.

- На четвертом этапе на основе формы опухоли изготавливаются приспособления для облучения такие как коллиматор и болюс (рис. 18), которые определяют глубину и форму излучения. Их, в свою очередь, устанавливают в специальное приспособление и проводят облучение протонным лучом, измеряя ее дозу и распределение.

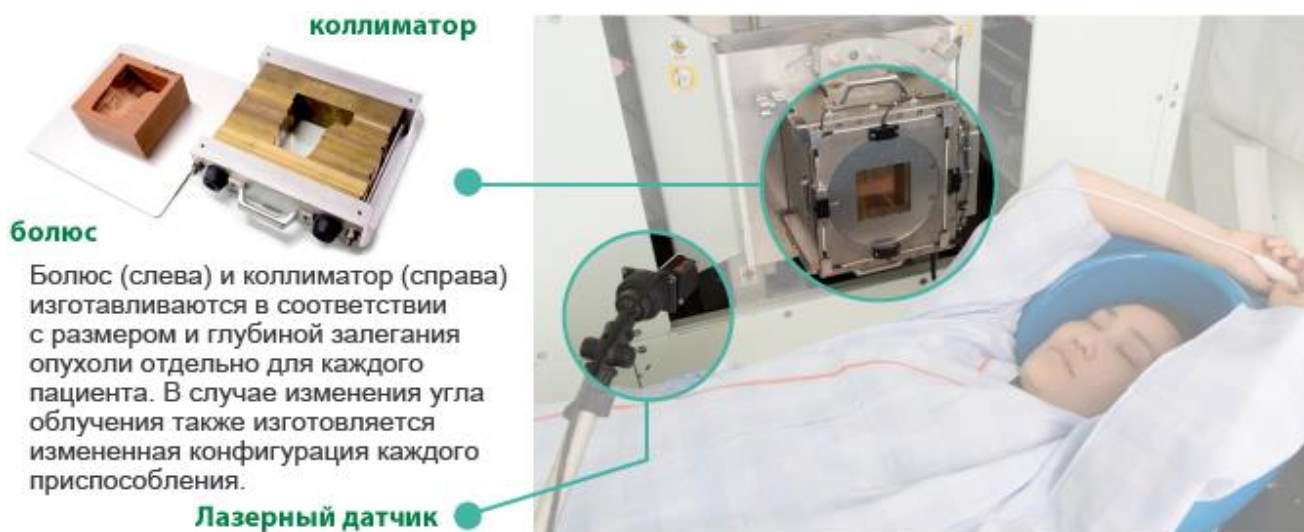


Рисунок 18 – Коллиматор и болюс

Итак, мы подошли к началу сеансов протонной терапии (рис. 19). Во время проведения терапии пациенту необходимо ежедневно посещать больницу и проходить сеансы облучения протонами. Количество сеансов и срок лечения зависит от особенностей каждого пациента. Время сеанса варьируется от 15 до 30 минут с учетом проверки положения и других процедур. Само облучение составляет 1-3 минуты. Во время облучения пациент не испытывает боли.

Последний этап - наблюдение после облучения. Один раз в три месяца пациент приходит на осмотр к лечащему врачу для результатов обследования и уточнения процесса выздоровления. [28]

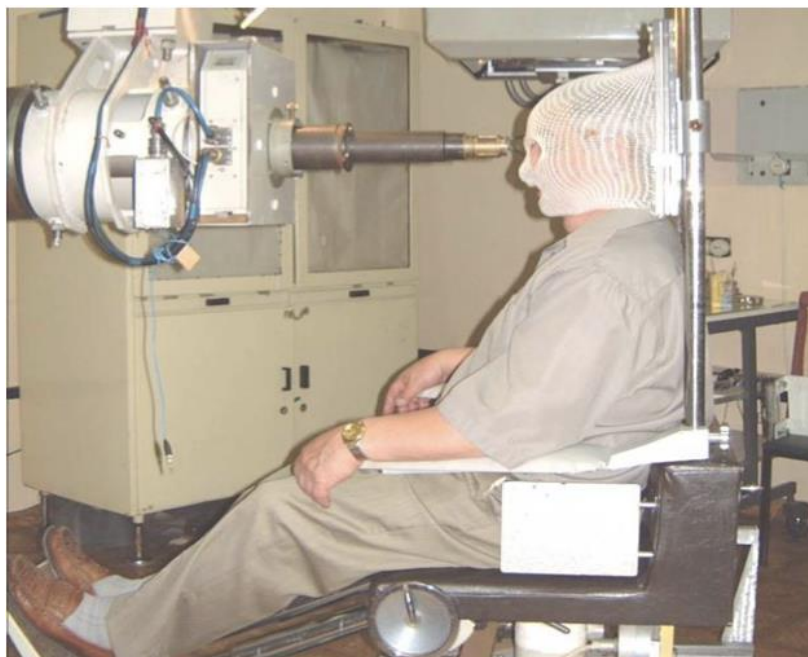


Рисунок 19 – Сеанс протонной терапии

Результаты лечения

Отдалённые последствия использования протонной терапии, зависящие от локализации раковой опухоли и её размера не отличаются от последствий использования других видов облучения злокачественных новообразований. В следствие лечения с помощью протонной терапии повреждается гораздо меньше окружающих опухоль здоровых тканей организма. Согласно статистике, риск развития радиоиндуцированных опухолей при ПЛТ составляет 4%, в отличие от фотонно-лучевой терапии, при которой риск составляет 30%. [29]

Истории пациентов, прошедших лечение протонной терапией

Анри, 7 лет, классическая медуллобластома, IV стадия

Клиническая история Анри началась в 5 лет, когда в июне 2018 г. у него случился приступ сильнейшей головной боли с рвотой, затем появилось нарушение походки и равновесия. Проведенное МРТ выявило обширное поражение IV желудочка с супра- и субтенториальным перимедулярным лептоменингеальным распространением. В августе, после установки центрального мозгового катетера (резервуара Рикхема) ему была проведена очень сложная 10-часовая операция, после которой отмечался син-

дром мозжечкового мутизма с потерей речи, возбуждением, нарушением глотания. После реабилитации и 4 курсов химиотерапии согласно протоколам лечения медуллобластомы и последующего обследования было принято решение о необходимости двойной высокодозной химиотерапии с трансплантацией аутологичных стволовых клеток.

В феврале 2019 г. контрольное обследование показало практически полную ремиссию заболевания.

Однако выраженные побочные эффекты тяжелой терапевтической артиллерии привели к потере 20% массы тела, отсутствию аппетита. В связи с этим было назначено ночное парентеральное питание и установлен желудочный зонд.

Воля к жизни Анри и усилия врачей позволили ему вскоре встать с инвалидной коляски и отправиться на курс протонной терапии. 30 сеансов проводились амбулаторно, хорошо переносились и не требовали ограничений обычного образа жизни.

Сейчас Анри проходит интенсивную физиотерапию, он ходит, хотя и прихрамывая, разговаривает, самостоятельно ест и уже мечтает о возвращении домой.[30]

Ами, 42 года. Внутриглазная меланома

«Что касается самой протонной терапии, то это было, как будто я снимаюсь в научно-фантастическом фильме: технологии и оборудование были потрясающими, просто невероятными! В маске, которую надевали на лицо, я выглядела как инопланетянин, собирающийся вернуться на корабль-носитель».

«Я была шокирована, что ничего не чувствовала, когда луч попал мне в глаза, я даже задумалась, действительно ли что-то происходит!» Но результаты лечения были отличными, опухоль была полностью уничтожена.

Когда Ами узнала, что у нее рак, она создала плейлист под названием «Я получила это», который включал в себя множество вдохновляющих, мотивирующих, «боевых» песен. Пережив отчаяние первого момента, она перевернула и нацелила свое сознание на выздоровление.

Фраза: «Вы побеждаете рак тем, как вы живете и почему вы живете» – стала ее девизом на всю жизнь. [30]

Дженни, 39 лет, инвазивная протоковая карцинома молочной железы
«Протонная терапия была самой легкой частью моего лечения».

Незадолго до 39 дня рождения Дженни заметила крошечную «ямочку» на левой груди, но никаких «комков» она не прощупала и успокоено решила, что поводов для беспокойства нет. Когда же ситуация не изменилась и через месяц, но тихий голос подсознания заставил ее отправиться к врачам. Плохих предчувствий не было: женщина была молода, в семейной истории не было рака молочной железы, она даже сомневалась, стоит ли делать маммографию... А уже через несколько недель после подтверждающей биопсии был диагностирован инвазивный протоковый рак. В груди было две опухоли, а метастазы уже разлетелись в лимфатические узлы и грудину.

После восьми курсов химиотерапии и двойной мастэктомии, была запланирована лучевая терапия. Врачи объяснили, что традиционное облучение подвергнет риску сердце и легкие. Это заставило Дженни искать альтернативу. Тогда-то она и узнала о протонной терапии, которая значительно уменьшит потенциальный вред для жизненно важных органов.

Дженни было проведено 36 сеансов ПТ с минимальными побочными эффектами, самочувствие позволяло много гулять, фотографировать и наслаждаться жизнью во время курса лечения. Последние сканы показали, что «признаков активного заболевания нет», Дженни счастлива и ведет активный образ жизни, в котором есть место для пеших походов, кемпинга и фотографии. [30]

4. Экономическая составляющая

Стоимость лечения

На данный момент существует огромный выбор клиник, каждая из которых специализируется на своем способе лечения рака.

Не стоит забывать, что по ОМС пациенту положена бесплатная высокотехнологическая медицинская помощь. Высокотехнологичная медицин-

ская помощь является частью специализированной медицинской помощи и включает в себя применение новых сложных и (или) уникальных методов лечения. Высокотехнологичная медицинская помощь оказывается медицинскими организациями в соответствии с перечнем, определенных приложением 10 к настоящей Территориальной программе. В приложении 1 указаны все виды онкологических заболеваний, на которые государство выделяет деньги. К примеру, на лечение внутримозговых злокачественных новообразований (первичные и вторичные) и доброкачественных новообразований функционально значимых зон больших полушарий головного мозга государство может выделить до 169754 рублей на единицу объема медицинской помощи.

Единицей объема является посещение медицинской организации и посещение на дому. [31]

К сожалению, далеко не все виды рака можно вылечить по ОМС. Кроме того, многим людям приходится покупать лекарства после терапии многие месяцы для успешного завершения лечения. Рассмотрим стоимость основных видов лечения онкологии в России.

Химиотерапия

Средняя стоимость прохождения полного курса с ежедневным осмотром врача-онколога с наблюдением и уходом среднего и младшего медицинского персонала в отделении стационара обойдется человеку в 104772 рубля.

Средняя стоимость 1 реабилитационной инъекции стоит 5265 рублей. [32]

Хирургическое лечение

Здесь все еще более сложно, ведь за каждый новый сантиметр опухоли, стоимость операции будет расти, из-за чего сложно дать объективную стоимость среднестатистической операции.

К примеру, операция по иссечению новообразований кожи:

до 2 см - 6500 рублей,

от 2 до 5 см - 11000 рублей,

от 5 до 10 см - 19000 рублей,

свыше 10 см - от 25000 рублей,

Рак молочной железы:

мастэктомия - 90000 рублей,

радикальная мастэктомия - 120000 рублей.

Протонная терапия

В связи с тем, что протонная терапия самый передовой и относительно безопасный метод лечения рака, он является наиболее дорогим способом лечения.

К примеру, в СПб стоимость лечения рака с использованием ускорителя начинается с 1 800 000 рублей. [33]

Стоимость лечения в Испании составляет в среднем 50000\$=3500000 рублей. [34]

Стоимость лечения в США от 35000\$=2450000 рублей[35]

Такая большая стоимость обусловлена использованием дорогих материалов, новейшего оборудования и сложнейших ускорителей.

Таким образом, стоимость протонной терапии огромна на фоне других способов лечения онкозаболеваний.

Заключение

В заключение хочется сказать, что протонная терапия - наиболее перспективный способ лечения рака, затрагивающий наименьшее количество здоровых тканей.

К сожалению, данный способ лечения стоит больших денег из-за чего множество людей не могут его себе позволить. Именно поэтому необходимо проводить исследования в данной области, ведь чем доступнее станет протонная терапия, тем больше людей смогут излечиться от такой ужасной болезни, как рак.

Литература

1. Бокерия Л.А. и др. Первый российский опыт успешного применения Журнал по протонной терапии от ИФВЕ [Электронный ресурс]–<https://docplayer.com/89729361-Centr-ionnoy-luchevoy-terapii-na-baze-uskoritelnogo-kompleksa-u-70.html> (дата обращения 11.11.2021).

2. Лазерная плазма [Электронный ресурс] – <https://bigenc.ru/physics/text/2131792> (дата обращения 11.11.2021).
3. Циклотрон [Электронный ресурс] – <https://www.youtube.com/watch?v=CX0Y-CKbWbY> (дата обращения 11.11.2021).
4. Дуант [Электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дуант> (дата обращения 11.11.2021)
5. Циклические ускорители [Электронный ресурс] – http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/электромагнетизм/04-3.htm (дата обращения 11.11.2021).
6. Синхротрон [Электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Синхротрон> (дата обращения 11.11.2021).
7. Ускоритель заряженных частиц [Электронный ресурс] – https://ru.wikipedia.org/wiki/Ускоритель_заряженных_частиц#Циклические_ускорители (дата обращения 11.11.2021).
8. Как работает большой адронный коллайдер? [Электронный ресурс] – <https://postnauka.ru/wtf/156027> (дата обращения 11.11.2021).
9. Галилео, адронный коллайдер [Электронный ресурс] – https://youtu.be/4M_rkBw5iJE (дата обращения 11.11.2021).
10. У-70 [Электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3-70> (дата обращения 11.11.2021)
11. Адроны [Электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Адрон> (дата обращения 11.11.2021).
12. ИФВЭ [Электронный ресурс] – https://ru.wikipedia.org/wiki/Институт_физики_высоких_энергий (дата обращения 11.11.2021).
13. Зачем люди сталкивают частицы [Электронный ресурс] – <https://nauka.tass.ru/nauka/10975625> (дата обращения 11.11.2021).
14. История ускорителей в СССР [Электронный ресурс] – <http://jinrmag.jinr.ru/win/2005/12/ji12.htm>, <https://www.atomic-energy.ru/SMI/2018/04/10/84886>, https://ru.wikipedia.org/wiki/Синхрофазотрон_ОИЯИ (дата обращения 11.11.2021).
15. Грид-сеть БАК [Электронный ресурс] – https://ru.wikipedia.org/wiki/LHC_Computing_Grid (дата обращения 11.11.2021).
16. Недостроенный ускорительно накопительный комплекс [Электронный ресурс] – <https://samnamos.livejournal.com/6130.html> (дата обращения 11.11.2021).
17. Мякишев Г. Я. Физика. 11 класс : учеб. для общеобразова. организаций: базовый и углубл. уровни / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин; подред. Н. А. Парфентьевой. — 7-е изд., перераб. — М.: Просвещение, 2019. — 432с.: [4] л. ил.
18. Онкологические заболевания [Электронный ресурс] – <https://israel-doctor.info/onkologicheskie-zabolevaniya/> (дата обращения 11.11.2021).
19. Стадирование онкологических заболеваний [Электронный ресурс] – <https://unim.su/blog/stadirovanie-onkologicheskikh-zabolevanij/> (дата обращения 11.11.2021).
20. Изменения статистики заболеваемости раком [Электронный ресурс] – <https://rg.ru/2021/02/05/zabolevaemost-rakom.html> (дата обращения 11.11.2021).
21. Показатель онкологической заболеваемости в России [Электронный ресурс] – <https://национальныепроекты.рф/news/pokazatel-onkologicheskoy-zabolevaemosti-v-rossii-za-2020-god-snizilsya-na-13-2> (дата обращения 11.11.2021).
22. Методы лечения рак [Электронный ресурс] – <https://www.euroonco.ru/patciendam/metody-lecheniya-raka> (дата обращения 11.11.2021).

23. Химиотерапия [Электронный ресурс] – <https://oncogenotest.com/blog/chemotherapy-how-does-it-work-and-how-do-you-feel/> (дата обращения 11.11.2021).
24. Гормонотерапия [Электронный ресурс] – <https://nii-onco.ru/lechenie/chto-takoe-gormonoterapiya-printsip-dejstviya-oslozhneniya/> (дата обращения 11.11.2021).
25. Генная инженерия [Электронный ресурс] – https://aif.ru/health/life/gennaya_inzheneriya_i_mikrohirurgiya_kak_lechat_rak_segodnya (дата обращения 11.11.2021).
26. Протонная терапия [Электронный ресурс] – <https://radiosurgery ldc.ru/stati/protonnaya-terapiya-novyj-uroven-effektivnosti-luchevogo-lecheniya-opuholej> (дата обращения 11.11.2021).
27. Протонная терапия при раке [Электронный ресурс] – <https://rakanet.ru/metodi-lecheniya/protonnaya-terapiya/> (дата обращения 11.11.2021).
28. Порядок проведения протонной терапии [Электронный ресурс] – https://www.pmrct.sukuba.ac.jp/ru/about_proton_therapy/flow.html (дата обращения 11.11.2021).
29. Возможности протонной терапии [Электронный ресурс] – <https://protherapy.ru/specialistam/protonnaa-terapiya-pobocznye-effekty/vozmoznosti-protonnoj-terapii-kliniceskie-aspekty> (дата обращения 11.11.2021).
30. Общая информация о протонной терапии и истории пациентов [Электронный ресурс] – <https://tomo-pet.ru/protonnaya-terapiya-pri-onkologii/> (дата обращения 11.11.2021).
31. Финансирование бесплатной медицинской помощи [Электронный ресурс] – <http://static.government.ru/media/files/A4x4tZ4dNAtRAIglIyTOFeRtzAMjy8W3.pdf> (дата обращения 11.11.2021).
32. Стоимость химиотерапии [Электронный ресурс] – <https://wmtmed.ru/price/khimioterapiya/> (дата обращения 11.11.2021).
33. Протонная терапия в СПб [Электронный ресурс] – <https://tomo-pet.ru/protonnaya-terapiya-pri-onkologii/protonnaya-terapiya-v-rossii/protonnaya-terapiya-spb/> (дата обращения 11.11.2021).
34. Протонная терапия в Испании [Электронный ресурс] – <https://ru.bookimed.com/clinics/country=spain/procedure=protonno-luchevaya-terapiya/> (дата обращения 11.11.2021).
35. Стоимость протонной терапии в разных странах [Электронный ресурс] – <https://rakanet.ru/metodi-lecheniya/protonnaya-terapiya/> (дата обращения 11.11.2021).

АППАРАТЫ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

**В.В. Бровкина, В.В. Бабин, О.И. Божьева, С.С. Вытнов,
А.В. Козлов, Л.Д. Уракова (ред. В.А. Сарибекян)**

В данной работе представлена основная информация об аппаратах искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Рассмотрены виды аппаратов, принцип работы, для чего и где они используются. Также были сделаны выводы о перспективах развития этой сферы. Кроме того, в работе представлены самые распространенные модели, а также описаны недостатки процедуры ИВЛ.

Введение

Сфера медицинской электроники – одна из самых интенсивно развивающихся отраслей промышленности. С переходом медицины на автоматизированный тип работы спрос на оборудование растет всё больше и больше. Потребности в том или ином виде аппаратуры меняются с течением времени и учетом видоизменения болезней и появления новых.

Так, например, в последние два года, в связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией во всем мире, возросла актуальность изучения и модернизации аппаратов искусственной вентиляции легких.

На сегодняшний день, практика показывает постоянное возрастание количества больных COVID-19. Кроме того, практически каждый месяц выявляется новый штамм. Рост числа заболевших означает и рост работы для медицинских работников. С целью повышения качества их работы, ускорения и облегчения протекания заболеваний, так важно, чтобы данная аппаратура продолжала перманентное развитие и имела вариабельность.

Таким образом, для выпуска новых, более совершенных видов оборудования, необходимо знать устройство и принцип работы аппаратов искусственной вентиляции легких в целом.

Обзор аппаратов ИВЛ

Что из себя представляют аппараты ИВЛ

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. Первая модель была разработана в конце 1920-х гг. врачом Филлипом Дринкером при участии педиатра Чарльза Макханна для лечения больных полиомиелитом[1].

Аппарат ИВЛ может использоваться как для инвазивной (рисунок 1) (через интубационную трубку, введенную в дыхательные пути пациента или через трахеостому), так и для неинвазивной искусственной вентиляции лёгких – через маску, как представлено на рисунке 2.



Рисунок 10 – Инвазивная вентиляция легких

Аппарат ИВЛ может быть как ручным (мешок Амбу), так и механическим. Сжатый воздух и кислород для пневмопитания механического аппарата могут подаваться как из центральной системы газоснабжения медицинского учреждения или баллона сжатого воздуха (при транспортировке), так и от индивидуального миникомпрессора (реальность в странах экс-СССР) и кислородного концентратора. При этом смесь газов должна согреваться и увлажняться перед подачей пациенту[2].



Рисунок 11 – Неинвазивная вентиляция легких

Как работают аппараты ИВЛ

В настоящий момент наиболее совершенной технологией синхронизации аппарата ИВЛ с пациентом является технология нейроконтролируемой вентиляции лёгких, когда сигнал, идущий из дыхательного центра продолговатого мозга по диафрагмальному нерву к диафрагме, фиксируется специальными высокочувствительными датчиками, расположенными в области перехода пищевода в желудок (область кардии).

Аппарат высокочастотной струйной ИВЛ может обеспечивать как собственно высокочастотную струйную ИВЛ, так и сочетанную. При этом используется контроль по давлению для предотвращения баротравмы лёгких. Современный аппарат ВЧ струйной ИВЛ должен иметь встроенный роликовый увлажнитель и встроенную систему обогрева газовой смеси для предотвращения тяжёлых осложнений со стороны дыхательных путей. Обязательна возможность дозирования кислорода и контроль углекислого газа в выдыхаемом воздухе [2-3].

Аппарат ИВЛ состоит из нескольких основных частей таких как компрессор, электронные схемы, датчики, система клапанов (рисунок 3).

Прибор способствует поступлению газовой смеси с необходимой и допустимой концентрацией кислорода в легкие пациента под давлением. В процессе его функционирования должна быть соблюдена цикличность

воз-духа, переключение инспирации и экспирации должно производиться с со-блюдением потока, объема и давления воздуха при определенных временных параметрах. На этапе инспирации производится контролируе-мая вентиляция, в остальных случаях прибор осуществляет поддержку ин-стинктивному дыханию пациента [4].

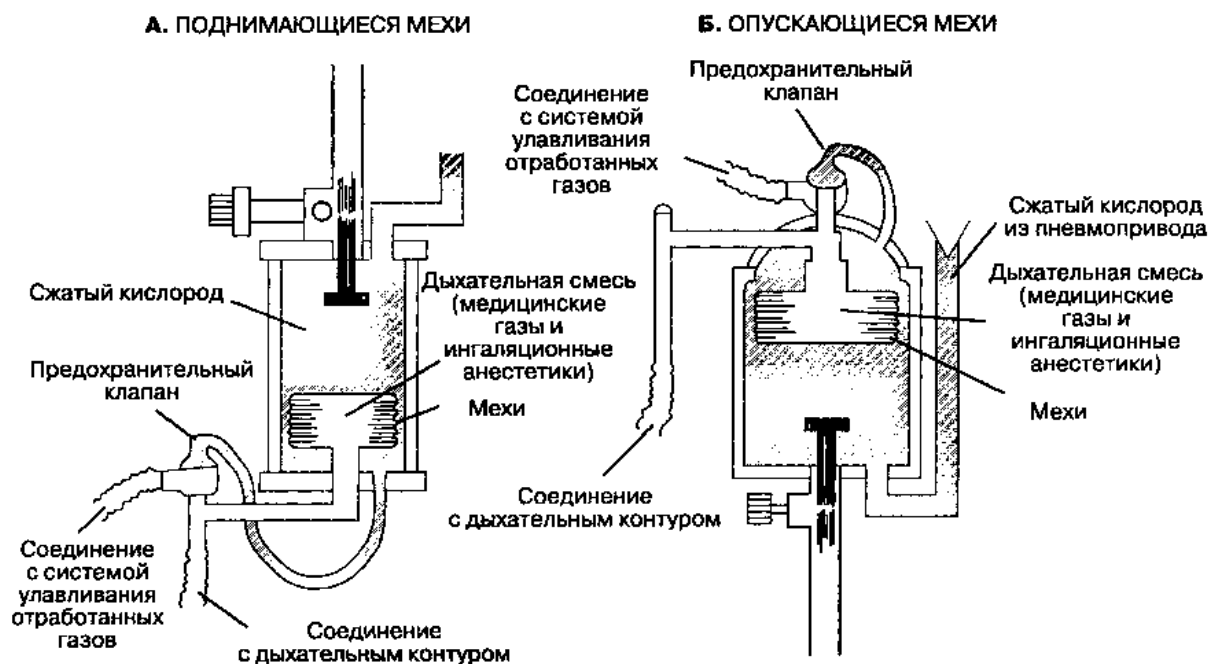


Рисунок 12 – Принцип работы аппарата ИВЛ

Если же говорить о ручном аппарате ИВЛ (мешок Амбу), то он имеет строение, представленное на рисунке 4.

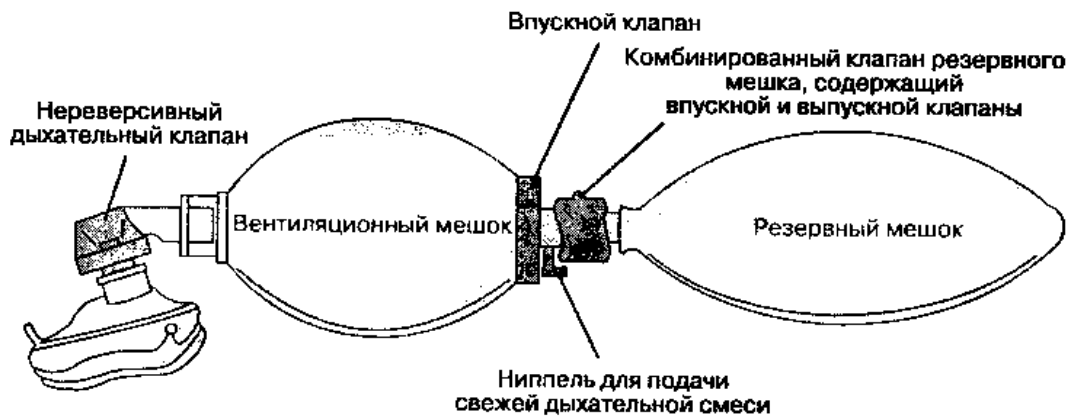


Рисунок 13 – Мешок Амбу

Мешок АМБУ состоит из семи частей: маски, основного вентиляционного и резервного мешков, медицинских клапанных систем и ниппеля.

При сжатии вентиляционного мешка происходит форсированное поступление воздуха в легкие пациента, одновременно нереверсивный дыхательный клапан препятствует обратному забросу выдыхаемого воздуха. Затем АМБУ самостоятельно расправляется за счет всасывания воздуха с клапана с обратной стороны мешка [2].

Для чего и где используются аппараты ИВЛ

Итак, аппараты искусственной вентиляции легких используются для того, чтобы обеспечить пострадавшему или больному человеку доступ кислорода и позволить дышать. Клинические показания к ИВЛ следующие.

В тяжелых случаях, когда состояние больного невозможно детально обследовать или отсутствует необходимое оснащение медицинского учреждения, основными показаниями к искусственной вентиляции являются:

- остро развившееся нарушение ритма дыхания, патологические ритмы;
- отсутствие самостоятельного дыхания (апноэ);

Данные пункты являются абсолютными показаниями к ИВЛ. Остро возникшие нарушения дыхательного ритма свидетельствуют о глубоких нарушениях центральной регуляции дыхания. Исключением являются больные с сердечной недостаточностью и диффузным атеросклеротическим поражением головного мозга. В данном случае достаточно часто возникает дыхание типа Чейна – Стокса (периодическое дыхание – дыхание, при котором поверхностные и редкие дыхательные движения постепенно учащаются и углубляются), которое получается устранить фармакологическими препаратами.

- учащение дыхания более 40/мин., в случае, не связанном с гипертермией (t тела более $38,5^{\circ}\text{C}$) или выраженной не устраненной гиповолемией;

Данное показание является относительным. Значение 40 – условное, однако его принимают за рубеж, при наступлении которого с легкостью может наступить декомпенсация (то есть, нарушение) самостоятельного дыхания.

- клинические проявления нарастающей гипоксемии и/или гиперкапнии.

В случае их сохранения после использования консервативных методов (кислородная терапия, обезболивание, восстановление дыхательных путей).

Данные проявления можно считать одними из самых важных критериев. Благодаря динамическому наблюдению можно выявить и определить степень выраженности основных симптомов, особенное значение, как правило, придают нарушениям сознания и психики, которые являются свидетельством гипоксической энцефалопатии. В отдельных случаях настоящие симптомы регрессируют после восстановления дыхательных путей, обезболивания и кислородных ингаляций. В случае же быстрого нарастания гипоксической клиники, не следует ожидать положительных эффектов от консервативных мероприятий, и необходима ИВЛ [2-4].

2. Самые распространенные модели, их преимущества и недостатки

Прежде чем говорить об основных моделях аппаратов ИВЛ, необходимо уточнить классификацию приборов.

Классификация приборов производится по следующим группам:

1. Возраст пациента разделяется на пять групп: с 1 по 3 – для детей старше 6 лет и взрослых; 4 группа – дети до 6 лет; 5 группа – новорожденные до 1 года.

2. Способ действия:

- внутренний;
- наружный;
- с использованием дыхательных электростимуляторов.

3. Тип привода:

- электрический;
- ручной;
- пневматический;
- комбинированный.

4. Предназначение:

- стационарные;
- портативные (переносные).

5. Сфера применения:

- Специального медицинского назначения; применяются для поддержания жизни новорожденных, оказания неотложной помощи, проведения бронхоскопии и т. д.

- Общего медицинского назначения. Необходимы для лечебных учреждений, осуществляющих терапию, анестезию, реанимацию и т. д.

6. Тип управляющего устройства:

- немикропроцессорные;
- микропроцессорные (интеллектуальные)[6].

Одним из наиболее важных медицинских приборов является высокочастотный струйный аппарат ИВЛ (рисунок 5), который позволяет производить обеспечение как высокочастотной струйной вентиляцией (циклическая частота более 50 мин), так и нормочастотной, и сочетанной ИВЛ.



Рисунок 14 – Высокочастотный аппарат ИВЛ

Благодаря контролю давления, аппарат позволяет предотвратить возможность возникновения легочной баротравмы, а новейшие специальные системы способствуют насыщению поступающего воздуха влагой, что позволяет исключить риск осушения или переохлаждения организма пациента [6].

На сегодняшний день, наличие аппаратов ИВЛ необходимо как в службах скорой и неотложной помощи, так и в стационарных отделениях.

Самые распространенные аппараты ИВЛ, используемые в условиях стационара или на дому

1. PRISMA VENT40 (рисунок 6).



Рисунок 15 – PRISMA VENT40

Устройство способно обеспечить лечение широкого спектра респираторных заболеваний. Функции AirTrap Control, блокировка триггера и рампа выдоха делают вентиляционную терапию надежной и комфортной для пациентов с ХОБЛ. Тип ИВЛ – неинвазивный / инвазивный. Категории пациентов – взрослые, дети (от 10 кг) [6].

2. PHILIPS RESPIRONICS VIPAP A40 (рисунок 7).

Аппарат предназначен для терапии хронических заболеваний дыхательной недостаточности средней и тяжелой стадии хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), синдрома ожирения с гиповентиляцией (СОГ), нервно-мышечных заболеваний взрослых и детей в стационарных

либо домашних условиях. Тип ИВЛ – неинвазивный. Может использоваться как для взрослых, так и для детей [6].



Рисунок 16 – PHILIPS RESPIRONICS VAPOR A40

3. BREAS VIVO 40 (рисунок 8).



Рисунок 17 – BREAS VIVO 40

Аппарат обеспечивает качественную респираторную терапию в домашних условиях, в том числе при переходе из медучреждения на домашнее лечение. Тип ИВЛ – неинвазивный. Может использоваться как для взрослых, так и для детей [6].

Самые распространенные аппараты ИВЛ, использующиеся в транспортных условиях

Транспортные портативные аппараты ИВЛ относятся к приборам специального назначения и предназначены для срочной легочной терапии при неотложной медицинской помощи. Именно такими приборами оснащаются кареты скорой помощи. От работы транспортного ИВЛ и комплекса действий медика зависит жизнь человека, попавшего в критическое положение поскольку именно оперативное снабжение воздухом пострадавшего в некоторых ситуациях, является единственной мерой спасения жизни.

1. WEINMANN MEDUMAT STANDARD^a (рисунок 9).



Рисунок 18 – WEINMANN MEDUMAT STANDARD^a

Аппарат используется для реанимации на месте происшествия и при транспортировке пациентов.

Для оперативного и правильного оказания помощи медику помогают нанесенные на переднюю панель прибора, пиктограммы, стрелки и цветные указатели[6].

Визуальные и акустические сигналы тревоги предупреждают о серьезных проблемах, например – о стенозе дыхательных путей или окклюзии шланга пациента, разъединении дыхательного контура, понижении давления и проч.

2. DRAGER OXYLOG 3000 PLUS (рисунок 10).



Рисунок 19 – DRAGER OXYLOG 3000 PLUS

Профессиональную транспортабельность и портативность прибору обеспечивают гибкие шланги для детей для группового использования на один аппарат, высокий заряд батареи, дополнительное вспомогательное оборудование (маски, манжеты и проч.). Подходит как для взрослых, так и для детей. Тип ИВЛ – неинвазивный[6].

3. DIXION AEROS 4300 (рисунок 11).



Рисунок 20 – DIXION AEROS 4300

Можно применять также в условиях стационара. Наиболее часто данную модель применяют в машинах скорой помощи и медицинской

авиации, в связи с высокой возможностью мобильного переноса. Эта модель подходит для пациентов разного возраста. Тип ИВЛ – неинвазивный [6].

Таким образом, преимущества каждого аппарата очевидны. И каждый из них используется для определенных целей и в определенных условиях.

Если же говорить о недостатках, то основным можно выделить один ключевой момент. При каждом проведении искусственной вентиляции легких есть риск повреждения самих легких (если речь идет об инвазивном типе вентиляции). Сама процедура крайне опасная и требует высокой квалификации врачей.

Кроме того, процедура искусственной вентиляции легких может приводить к осложнениям COVID-19. Ученые из Португалии и Нидерландов выяснили, что в 23% случаев пациенты на ИВЛ сталкиваются с грибковыми поражениями легких, что на четверть увеличивает риск смерти.

3. Выводы о перспективах развития

Тем не менее, каким бы ни был широк ассортимент приборов ИВЛ, далеко не всем он доступен. До сих пор, несмотря на сложившуюся в стране ситуацию, во многих больницах стоят аппараты не самого высшего класса, что усложняет работу врачам и затрудняет поддержание стабильного состояния пациентов.

Очевидно, что на данный момент дела с ИВЛ обстоят не лучшим образом. Тем не менее, предполагается, что инженерия не будет стоять на месте. И все риски, которые имеются на сегодняшний день, будут минимизированы со временем, а последствия от ИВЛ будут устранены. Существует множество компаний (таких как Медпром, Philips, Тритон-ЭлектроникС и т.д.), активно модернизирующих ныне имеющиеся приборы.

Заключение

Таким образом, изучение принципов работы и устройства аппаратов искусственной вентиляции легких очень важно, особенно в сложившейся

на сегодняшний день ситуации. Ведь знание этих принципов необходимо для освоения новых технологий, понимания тенденций развития промышленности и селективности использования аппаратуры в той или иной ситуации. А развитие сферы аппаратов ИВЛ – необходимость, продиктованная условиями современной жизни.

Литература

1. Гесс Дин Р., Качмарек Роберт М. Искусственная вентиляция легких – Москва: Бином, 2009 – 432 с.
2. Горячев, А.С., Савин И.А. Основы ИВЛ – М.: Москва, 2019. – 260 с.
3. Межирова Н.М., Вьюн В.В., Данилова В.В., Кравцова Г.Д., Булгакова Н.Б. Азбука искусственной вентиляции лёгких: методические указания для врачей-интернов – Харьков: ХНМУ, 2014 – 56 с.
4. Шурыгин И.А. Искусственная вентиляция легких как медицинская технология – Москва: Бином, 2020 – 630 с.
5. Федеральная служба государственной статистики URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 16.10.2021).
6. Топовые модели аппаратов ИВЛ для клиник и дома. URL: <https://www.oxy2.ru/articles/topovye-modeli-apparatov-ivl-dlya-klinik-i-doma.html> (дата обращения 01.11.2021).

ВОЛНОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ

**А.В. Фомина, Э.М. Любченко, А.Н. Горбунова, В.В. Зуева,
Я.А. Мельникова, А.С. Дугушкин (ред. О.А. Бордаченкова)**

В данной работе представлена основная информация о волновых методах диагностики и терапии. Целью нашей работы стало изучение видов волновой терапии, их воздействия на организм человека, а также видов и устройства аппаратуры, с помощью которой происходит лечение.

Введение

Трудно представить современную медицину без использования такого современного волнового метода диагностики и терапии. В нашей статье мы подробно расскажем о ней, а также рассмотрим основные методы волновой терапии и исследований, а именно УВТ (Ударно-волновую терапию), УФО (ультрафиолетовое излучение), КВЧ-исследование (терапию) (Крайне высокочастотную терапию), ультразвуковую терапию и УВЧ-терапию, обратимся к используемой аппаратуре и влиянии на человеческий организм. Для того чтобы подробнее узнать, что это все-таки представляет волновая терапия, практическое применение, обратимся непосредственно к нашей работе.

1. УВТ (ударно-волновая терапия)

Ударные волны успешно применяются в медицине уже на протяжении долгого времени. Их использование представляет собой очень короткий, мощный импульс с высокой амплитудой давления. Ударно-волновая терапия – это неинвазивный метод воздействия акустическими импульсами высокой амплитуды на ткани организма. В отличие от звуков волн, ударные волны имеют более высокую положительную амплитуду давления (сжатия), короткую продолжительность импульса, быстрое нарастание пиковой амплитуды давления с резким передним фронтом и наличием пологого заднего фронта, который сменяется отрицательной фазой

(растяжения). Процедура включает в себя 1500-3000 ударных импульсов, каждый из них длится около 1 мс [1].

Существует два способа образования ударных волн:

- ЭУВТ - экстракорпоральная ударно-волновая терапия;
- РУВТ - радиальная ударно-волновая терапия.

В методике ЭУВТ образуются электрогидравлические и пьезоэлектрические импульсы давления, так называемые ударные волны.

В случае РУВТ, электромагнитный генератор ускоряет массу, подобную снаряду, и баллистически создает ударные волны.

Начиная с 1995 года, ЭУВТ целенаправленно применяется для лечения заболеваний костно-мышечного аппарата. Сегодня фокусированную ударно-волновую терапию комбинируют с радиальной ударно-волновой терапией и дополняют вспомогательными формами лечения с вибрационной технологией (рисунок 1 и рисунок 2) [2].

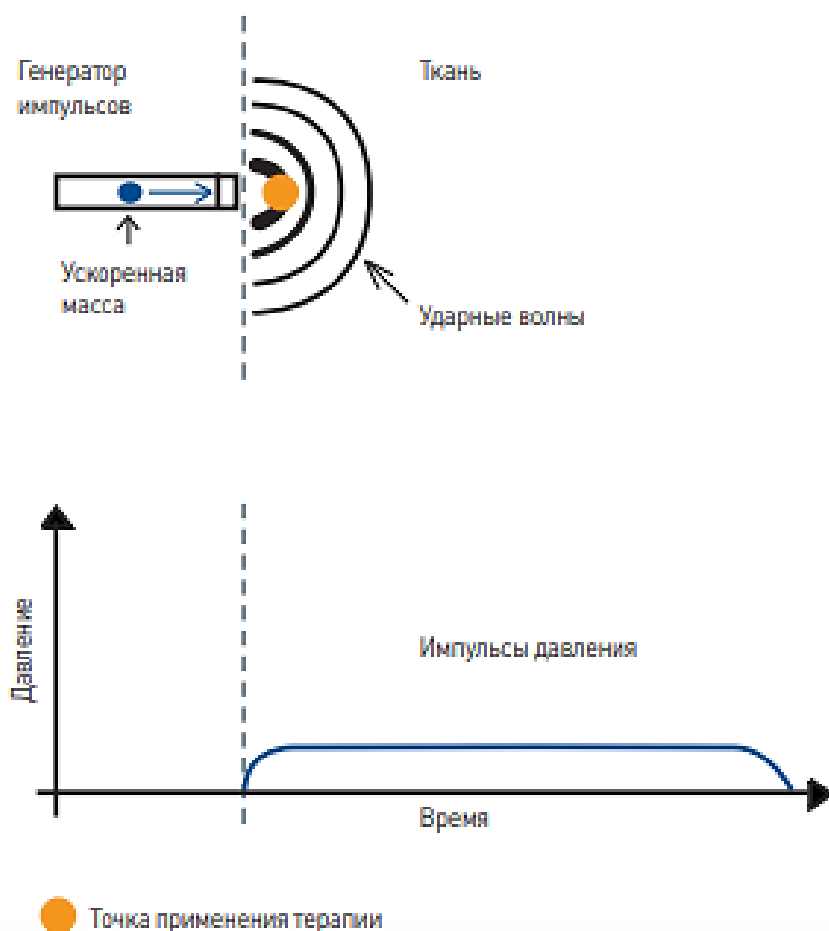


Рисунок 1 – РУВТ

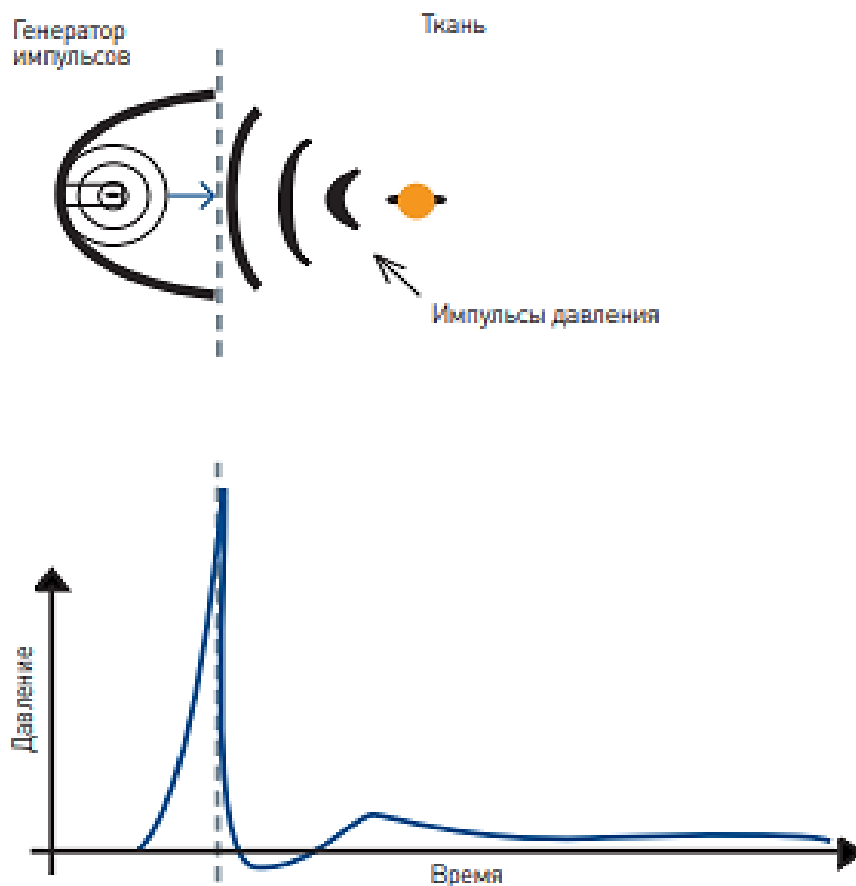


Рисунок 2 – УЭВТ

Действие УВ основано на эффекте кавитации, возникающем на границе раздела сред. УВ проходят через мягкие ткани, имеющие меньшее сопротивление, чем костные и хрящевые, и действуют на более акустически плотные образования. УВТ занимает место между консервативным лечением, которое иногда оказывается безрезультатным, и хирургическим вмешательством. После пройденного курса лечения отмечается, что в областях, плохо снабженных кровью, улучшается кровообращение. Также одним из важнейших эффектов ударной волны является прорастание новых микрососудов в проблемную область.

УВТ способна подавлять болевые ощущения, это связано с усиленной выработкой эндорфинов, в ответ на раздражение болевых рецепторов.

Обезболивающий эффект связан с тем, что в очаге воспаления меняется проницаемость клеточных мембран. Проходя через эластичные мем-

браны клеток, ударная волна не нарушает их. А натянутые из-за отека, измененные мембраны воспаленных клеток входят в резонанс с ней и разрушаются. Таким образом, сфокусированная ударная волна действует избирательно: здоровые клетки пропускают ее энергию, а воспаленные— гибнут.

На сегодняшний день УВТ используется в: урологической практике, лечении хронической тазовой боли, дерматологической и косметологической практике, лечении остеоартрита, подавлении опухолевых прогрессий при лечении больных со злокачественными новообразованиями, лечении больных с хронической сердечной недостаточностью.

Аппарат ударно волновой терапии Dornier Aries – разработка немецкой компании MedTech (рисунок 3).



Рисунок 3 – Аппарат ударно волновой терапии Dornier Aries

Ключевые характеристики Dornier Aries:

- использование инновационной технологии Smart Focus для стабильного воздействия;

- возможность использования одного аппликатора в ходе процедуры;
- простота управления;
- доступная для российского потребителя цена;
- высокая эффективность;
- соответствие мировым стандартам.

Курс лечения методом ударно-волновой терапии состоит в среднем из 3-4 процедур, продолжительностью от 10 до 60 минут.

2. Аппараты УФО (ультрафиолетовое облучение)

Ультрафиолетовое излучение – не воспринимаемая глазом область оптического, электромагнитное излучение, спектральный диапазон которого лежит меж видимым и рентгеновским излучениями. Длины волн УФ излучения от 10 до 400 нм ($7,5 \cdot 10^{14}$ – $3 \cdot 10^{16}$ Гц).

Ультрафиолетовое излучение оказывает различное влияние на человека, то есть как полезное, так и вредное, именно этот факт имеет большое значение для медицинской науки и здравоохранения.

Длительное воздействие на человека солнечного УФ–излучения может привести к острым и хроническим последствиям для здоровья – для глаз, кожи и иммунной системы: изменения в окрашенных пигментах участков кожи; рак кожи; фотоконъюктивит и фотокератит, катаракта; возрастание риска заболевания грибковыми, вирусными, бактериальными, паразитарными инфекциями; снижение эффективность прививок [3].

Лечебные аппараты

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение (КУФ). КУФ использует ультрафиолетовое излучения (180-280 нм) с лечебно-профилактической целью. Существует два метода применения КУФ-излучения: - облучение слизистых оболочек и ран; - аутотрансфузия ультрафиолетом облученной крови (АУФОК). Лечебные эффекты: бактерицидный и микоцидный; иммуностимулирующий, метаболический, коагулокорректирующий (для ультрафиолетового облучения крови).

Показания: воспалительные заболевания кожи, носоглотки, раны с опасностью присоединения анаэробной инфекции, туберкулез кожи. Кроме них для АУФОК показаны гнойные воспалительные заболевания, болезни сердца, пневмония, заболевания желудка, сахарный диабет и прочее.

Противопоказания: повышенная чувствительность кожи и слизистых к ультрафиолетовому излучению. Для АУФОК противопоказаны порфирии, тромбоцитопении, психические заболевания, гепато- и нефропатии, каллезные язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, острое нарушение мозгового кровообращения, острый период инфаркта миокарда и прочее (рисунок 4).

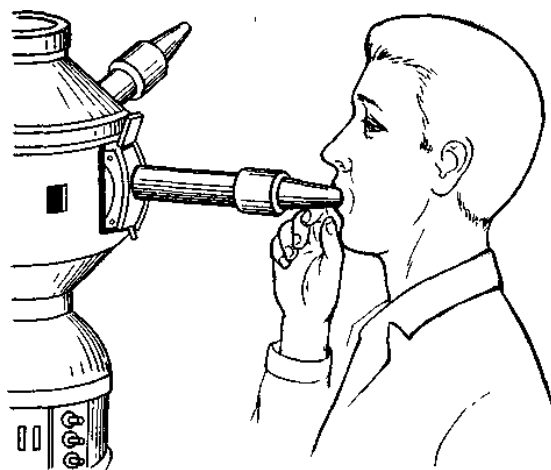


Рисунок 4 – КУФ

Средневолновое ультрафиолетовое излучение (СУФ)

Механизмы лечебных эффектов состоят в следующем. При поглощении квантов средневолнового ультрафиолетового излучения, которые обладают существенной энергией, в коже образуются низкомолекулярные продукты фотолиза белка и фоторадикалы. Последующие ультрафиолетовые облучения активируют барьерную функцию кожи, снижают ее холодную чувствительность и повышают резистентность к действию токсических веществ. При локальном облучении происходит улучшение сократимости миокарда. Средневолновое ультрафиолетовое излучение восстанавливает мукоцилиарный транспорт в слизистых оболочках трахеи и бронхов, стимулирует гемопоз, кислотообразующую функцию желудка и выделительную способность почек.

Лечебные эффекты: витаминообразующий, трофостимулирующий, иммуномодулирующий (субэритемные дозы), противовоспалительный, анальгетический, десенсибилизирующий (эритемные дозы).

Показания: воспалительные заболевания внутренних органов (особенно дыхательной системы), последствия ранений и травм опорно-двигательного аппарата, заболевания суставов и костей, недостаточность солнечного облучения, нарушения обмена веществ и прочее.

Противопоказания: гипертиреоз, повышенная чувствительность к ультрафиолетовым лучам, хроническая почечная недостаточность, системная красная волчанка, малярия (рисунок 5).

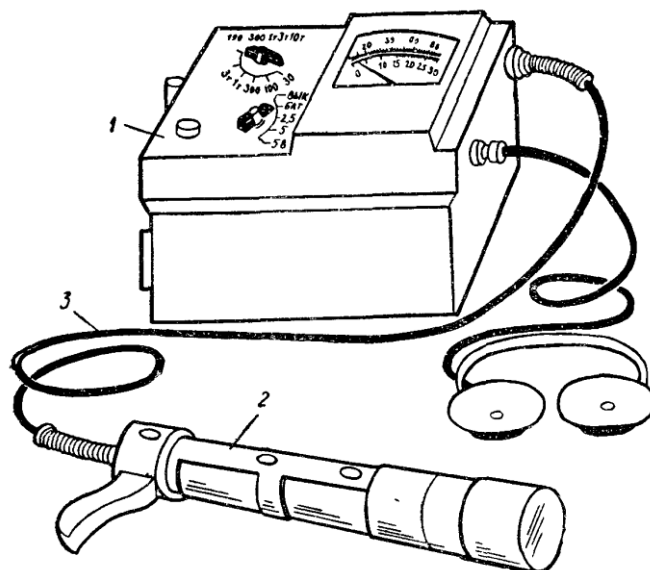


Рисунок 5 – СУФ

Длинноволновое ультрафиолетовое излучение (ДУФ)

ДУФ-излучения (320-400 нм). Механизмы лечебных эффектов: ДУФ-лучи оказывают слабое эритемообразующее действие. Его используют в ПУВА-терапии при лечении кожных заболеваний. ДУФ-лучи, как и другие области УФ-излучения вызывают изменение функционального состояния ЦНС и ее высшего отдела коры головного мозга. За счет рефлекторной реакции улучшается кровообращение, усиливается секторная активность органов пищеварения и функциональное состояние почек. ДУФ-лучи оказывают слияние на обмен веществ, прежде всего минеральный и азотный.

Основные лечебные эффекты ДУФ-лучей являются: пигментообразующий, иммуностимулирующий и фотосенсибилизирующий.

Показаниями для их применений являются: хронические воспалительные заболевания внутренних органов (особенно органов дыхания), заболевания органов опоры и движения, ожоги, отморожения, вялозаживающие раны и язвы, кожные болезни (псориаз, экзема, витилиго, себорея и др.).

Противопоказания: острые противовоспалительные процессы; заболевания печени и почек с выраженным нарушением их функций; гипертиреоз; повышенная чувствительность к ДУФ-излучениям.

Аппаратура. Источником УФ-излучения для лечебного применения являются газоразрядные лампы, изготовленные из кварцевого стекла, пропускающего УФ-лучи. По области излучаемого спектра облучатели разделяют на интегральные и селективные. Интегральные облучатели испускают лучи полного УФ-спектра. Такими облучателями являются люминесцентные лампы высокого давления типа дуговых ртутно-кварцевых ламп (ДРТ) различной мощности, соответствующей цифровому индексу лампы. Лампа представляет собой кварцевую трубку, в концы которой впаяны вольфрамовые электроды. Воздух из трубки выкачан, она заполнена парами ртути и небольшим количеством инертного газа аргона. При включении тока в парах ртути возникает дуговой разряд. Наличие аргона облегчает зажигание лампы. Нормальный режим ее горения устанавливается через 10-15 мин после включения (рисунок 6) [4].

3. КВЧ-терапия

Крайне высокочастотная терапия (КВЧ-терапия) — лечебный метод воздействия электромагнитным излучением миллиметрового диапазона от 1 до 10 мм, соответственно от 30 до 300 ГГц, интенсивность должна не превышать 10 мВт/см².

Имея низкую интенсивность, эти волны не могут глубоко проникать в ткани. Из-за низкой энергии квантов такого излучения, оно не разрушает молекулы. Также такие волны не оказывают теплового воздействия на

организм человека и характеризуются сильным поглощением молекулами воды.

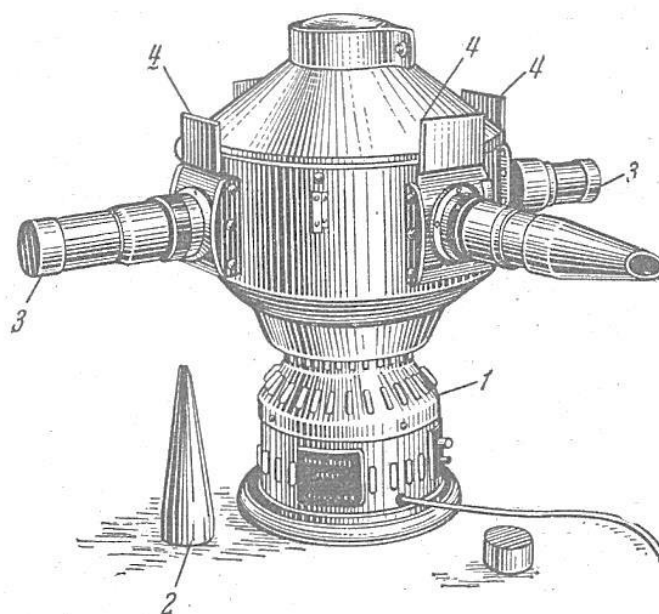


Рисунок 6 – Облучатель ртутно-кварцевый групповой для носоглотки:
1 – корпус облучателя; 2 – тубус; 3 – съемные наконечники;
4 – зеркальце над тубусом

Из-за того, что процентное соотношение воды в человеческой коже велико, при воздействии ММ-волн на кожу они почти полностью поглощаются на глубине менее 1 мм. Так как при каких-либо нарушениях в организме амплитуда клеточных колебаний уменьшается, КВЧ-терапия направлена на возмещение недостающей энергии, что ведёт к восстановлению колебаний к нормальным значениям. Особенностью КВЧ-терапии является то, что эффективность этого метода лечения зависит от правильности выбора физических параметров воздействия, поэтому сегодня КВЧ-терапия делится на 4 практических направления: ММ-терапия воздействует фиксированными частотам 42,2, 53,5, и 60,1 ГГц; микроволновая резонансная терапия (МРТ), использует устройства, способные плавно изменять частоту излучения в диапазоне 52—78 ГГц, которая подбирается индивидуально для пациента; информационно-волновая терапия (ИВТ) с применением широкополосного шумового спектра КВЧ излучения в диапазоне частот от 53 до 78 ГГц; терапия с использованием фонового резонансного излучения (ФРИ-терапия) [5].

Одним из важных преимуществ КВЧ-терапии является возможность использования данного метода при различных заболеваниях, вне зависимости от возраста и количества дополнительных болезней. Наличие различных практических направлений позволяет выбрать оптимальный для каждого случая вариант воздействия. Проведение КВЧ-терапии у пациентов, восстанавливающихся после дискэктомии, показало уменьшение болевого синдрома у всех больных, участвующих в исследовании. Применение КВЧ-излучения для активизации процессов регенерации после оперативных вмешательств также показало высокую эффективность, что позволило сократить применение наркотических анальгетиков. Использование КВЧ-терапии в дополнение к классическому лечению больных эпилепсией позволяет уменьшить количество приступов, что подтверждается динамикой нейрофизиологических характеристик.

Исследование, проведённое на животных, показало, что ММ-волны оказывают положительное влияние во время воспалительного процесса из-за микобактерий туберкулёза. Химиотерапия, дополненная ММ-терапией, привела к быстрому и полноценному рассасыванию очагов в лёгких, печени и селезёнке. Эти результаты можно связать с резким возрастанием фагоцитарного показателя, достигаемым за счёт влияния КВЧ-излучения на клетки крови. Также была доказана эффективность применения КВЧ-терапии в онкологии с целью улучшения переносимости химиотерапевтического лечения и повышения иммунологических показателей. При изучении влияния ЭМИ ММ-диапазона на больных сахарным диабетом были отмечены понижение уровня глюкозы в моче и крови, что влияло на уменьшение дозы сахаропонижающих препаратов. Помимо этого, КВЧ-терапия показала высокую эффективность при лечении кожных заболеваний. Проведённые исследования показали нормализацию иммунного статуса, уменьшение или исчезновение кожных проявлений на фоне стабилизации психоневротического статуса пациентов. Большую популярность КВЧ-терапия получила в профилактике острых респираторных заболеваний у детей с хроническими заболеваниями уха, горла и носа. Было доказано, что этот метод оказывает приводил к регулированию вегета-

тивной нервной системы у детей, подверженных частым болезням. Также было замечено снижение частоты бактериальных осложнений, продолжительности течения ОРЗ и обострений хронических ЛОР и аллергических заболеваний. У подростков с эссенциальной гипертонией КВЧ-терапия вызывала нормализацию психоэмоционального статуса и устранение дисфункции вегетативной нервной системы. К сожалению, на данный момент не существует точного обоснования механизма действия КВЧ-излучения, также нет четкой теории объяснения универсальности лечебного воздействия, но несмотря на это данный метод в качестве дополнения к медикаментозному лечению показывает высокую эффективность [6].

4. Ультразвуковая диагностика и терапия

Ультразвуком (УЗ) называют механические волны, частоты которых более $2 \cdot 10^4$ Гц и менее 10^9 – 10^{10} Гц. В медицине УЗ используется для воздействия и диагностики. При операциях УЗ способен рассекать мягкие и костные ткани. УЗ может дробить тела, помещенные в жидкость, что широко применяется при изготовлении препаратов. В терапевтических дозах УЗ положительно влияет на сердечно-сосудистую систему, на дыхательную систему, на нервную систему, улучшает регенеративные процессы. В то же время большие дозы, высокая интенсивность вызывают патологические деструктивные изменения в организме. УЗ хорошо отражается на границах разных тканей, на поверхности полых органов. Благодаря этому можно определить расположение и размер неоднородных тел, полостей, внутренних органов и т. п. При диагностике используют непрерывное и импульсное излучения. В первом случае исследуется стоячая волна, возникающая при интерференции, падающей и отраженной волн от границы раздела. Во втором случае наблюдают отраженный сигнал, что позволяет оценить расстояние до объекта исследования. Для диагностики посредством УЗ было разработано множество методов: эхоэнцефалография (позволяет исследовать структуру головного мозга), эхокардиография (используется для исследования строения сердца в динамике), доплерография (помогает исследовать кровеносные сосуды). В офтальмологии УЗ

применяется для измерения размеров глаза и определения положения хрусталика.

Режимы УЗИ:

- А-режим. Данный метод исследования выдаёт одномерное изображение, где первая точка обозначает координату сигнала, отраженного от границы сред с разным акустическим сопротивлением, а вторая расстояние до этой границы.

- В-режим. Данный метод исследования выдаёт двухмерное изображение, в масштабе реального времени появляется возможность оценить морфологическое состояние.

- М-режим. Данный метод исследования выдаёт одномерное изображение, в котором первая цифра это расстояние от датчика до лоцируемой структуры, а другая – время [7].

Оборудование:

- УЗИ сканеры. Рассчитаны для двухмерного акустического изображения результатов УЗИ в черно-белом цвете

- УЗИ сканеры со спектральным доплером. Данные сканеры имеют дополнительными функции, которые при помощи доплеровского метода оценивают скорость кровотока.

- Эхоофтальмометр. Данный аппарат используется в офтальмологии, для визуализации всех структур и тканей глаза. Эхоофтальмометр дает результат в виде одномерного или двумерного изображения.

- Фетальный монитор. Аппарат который имеет возможность измерять частоту сокращений сердца с помощью доплеровского метода.

- Эхоэнцефалоскоп. Данный аппарат предназначен для обследования мозга транскраниальным методом. В большинстве случаев такое обследование проводят через область виска на черепе.

- Синускоп - это УЗИ аппарат используемый я для исследования пазух – лобных и носовых (рисунок 7) [8].

1. Монитор
2. Динамики
3. Панель управления
4. Держатели зондов и тюбиков с гелем
5. Видеомагнитофон
6. Порты зонда
7. Ножные тормоза
8. Ножные тормоза
9. Съёмные диски
10. Черно-белый видеопринтер
11. Ручка для поворота пульта управления
12. Ручка для поднятия пульта управления
13. Цветной видеопринтер (сбоку)

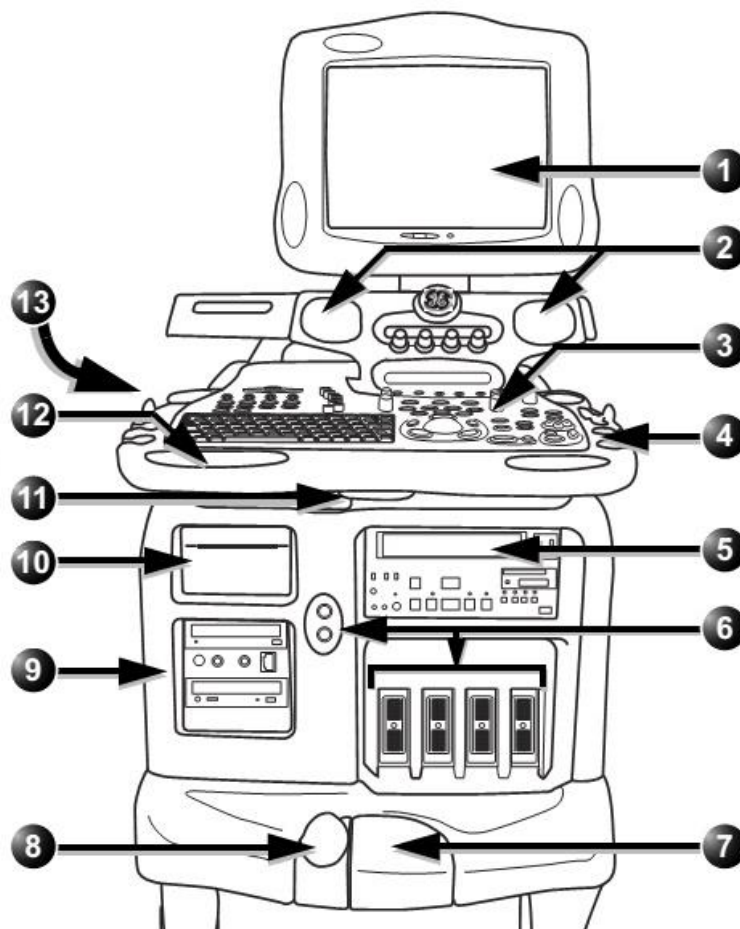


Рисунок 7 – Устройство аппарата УЗИ

5. УВЧ-терапия

Основы УВЧ-терапии

УВЧ-терапия заключается в том, что к тканям пациента при помощи индукторов или конденсаторных электродов, присоединенных к генератору подводят УВЧ-сигналы или колебания. Поглощение энергии электромагнитного УВЧ поля тканями небольшое, из-за чего имеет высокую проникающую способность, проходя через участок тела, который располагается между электродами. Распространение электромагнитного поля в межэлектродном пространстве происходит в зависимости от величины, свойств тканей организма человека и расположения электродов.

Изменения под влиянием УВЧ сигнала в клеточных структурах тканей обуславливает тепловое и «специфическое» воздействие поля.

Из-за всякого получения энергии УВЧ-поля наибольшее количество тепла вырабатывается в тканях с высокими диэлектрическими свойствами, бедные водой (костная, нервная и соединительная ткань, сухожилия и связки, подкожная жировая клетчатка). Наоборот, в тканях и средах богатых водой, с высокой электропроводностью (лимфа, кровь, мышечная ткань) образуется гораздо меньше тепла (рисунок 8).

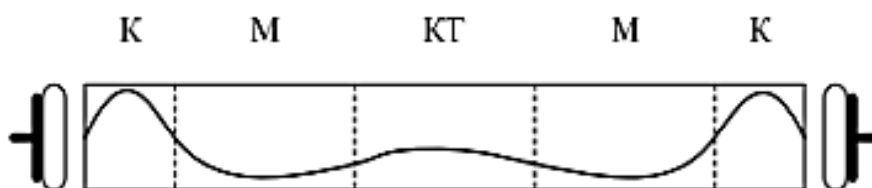


Рисунок 8 – Распределение поглощенной электромагнитной энергии в тканях организма при УВЧ-терапии: К-кожа, М - мышечная ткань, КТ - костная ткань

На рисунке 9 показана эквивалентная электрическая схема цепи из участка тела пациента и емкостных электродов. В диапазоне УВЧ полное сопротивление тела пациента (сопротивление R и емкость C) соизмеримо с емкостным сопротивлением участка цепи между поверхностью тела пациента и электродами (конденсатор C_0), значение этого сопротивления определяется воздушными зазорами между электродом и поверхностью тела больного.

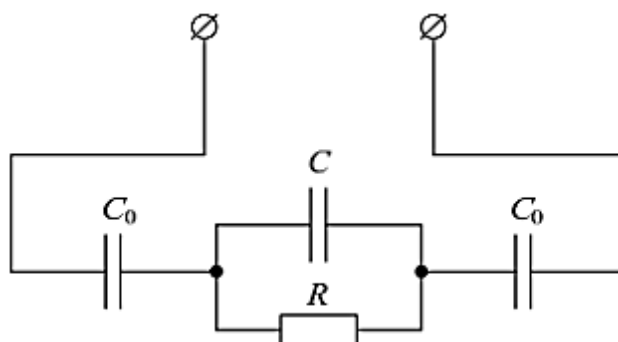


Рисунок 9 – Эквивалентная электрическая схема цепи из емкостных электродов и участка тела пациента при УВЧ-терапии

В таблице 1 представлены аппаратное обеспечение УВЧ-терапии.

Таблица 1 – Аппаратное обеспечение УВЧ-терапии

№	Тип	Внешний вид	Функциональные возможности
1	УВЧ 30М	 The image shows a grey rectangular device with a control panel on the front and a flexible arm with a circular electrode head attached to the top.	Аппарат имеет ручную подстройку частоты, таймер установки времени процедуры. Количество регулировки мощности для облучения больного полями УВЧ равно 3
2	УВЧ 50-02	 The image shows a grey rectangular device with a control panel on the front and a flexible arm with a circular electrode head attached to the top.	Отличительные особенности аппарата: автоматическая настройка терапевтического контура следящего типа, твердотельная элементная база, цифровой таймер, светодиодная индикация установленных значений выходного уровня мощности и квазисенсорное управление функциями аппарата
3	УВЧ 70-01Р	 The image shows a grey rectangular device with a control panel on the front and a flexible arm with a circular electrode head attached to the top.	Присутствие импульсного режима работы, из-за чего осцилляторное действие УВЧ проявляется при существенном уменьшении эндогенного теплообразования, что позволяет использовать атермические дозировки при лечении заболеваний в остром периоде
4	УВЧ 70-01А	 The image shows a grey rectangular device with a control panel on the front and a flexible arm with a circular electrode head attached to the top.	Аппарат имеет автоматическую подстройку частоты. Количество ступеней регулировки мощности для облучения пациента полями УВЧ равно 7
5	УВЧ 80-04	 The image shows a light blue rectangular device with a control panel on the front and a flexible arm with a circular electrode head attached to the top.	Аппарат предназначен для местного лечебного воздействия электрическим или магнитным полем УВЧ в режиме непрерывной генерации. Аппарат имеет автоматическую подстройку частоты

№	Тип	Внешний вид	Функциональные возможности
6	УВЧ-80-04 (2-режимный)		Особенностью аппарата является наличие импульсного режима работы, благодаря чему осцилляторное действие УВЧ проявляется при значительном уменьшении эндогенного теплообразования, что позволяет использовать атермические дозировки при лечении заболеваний в остром периоде
7	УВЧ-80-3 «Ундатерм»		Аппарат предназначен для лечебного воздействия электрическим и магнитным полем УВЧ в режиме непрерывной генерации

Особенности применения и дозирование процедур УВЧ-терапии

При проведении процедур УВЧ-терапии применяют поперечное и продольное расположение двух электродов. В случае емкостных электродов напряженность и поглощенная энергия электрического поля УВЧ, которое создается после лечебного воздействия, различна и находится в зависимости от их расположения и расстояния между электродом и тканями. Во время проведения процедуры УВЧ-терапии больной должен находиться в спокойном положении, сидеть или лежать на кушетке (без металлических деталей), не разговаривать, не читать, не напрягаться; о неприятных ощущениях ему необходимо известить медицинскую сестру. При проведении процедуры часть тела пациента, на которой проводится лечение крепко закрепляют. Для процедуры выбирают электроды надлежащей величины, закрепляют их в держателях и устанавливают в нужном положении для проведения лечения. Проводить процедуры УВЧ-терапии можно через сухую одежду пациента, через мазовые и сухие гипсовые повязки. Нельзя проводить процедуры через влажную одежду и повязки (особенно смоченные физиологическим, гипертоническим раствором и

т.п.). Также нельзя проводить процедуры через сырые войлочные прокладки, которые служат для создания зазора, а также если в области расположения электродов есть металлические предметы размером более 22 см, особенно находящиеся около нервных образований и крупных кровеносных сосудов. Поле УВЧ с низкой интенсивностью применяют главным образом в острую (альтернативно-экссудативную) фазу воспаления, при сильной боли, а высокоинтенсивное поле – в стадию разрешения (пролиферативную) воспалительного процесса или после дренирования гнойного очага воспаления. Длительность ежедневных процедур составляет 10–15 мин, при нетепловом воздействии их количество можно увеличить до двух в день (утром и вечером); курс 8–12 процедур. Если необходимо, можно провести повторный курс УВЧ-терапии, его назначают через 2–3 месяца [9].

Заключение

В заключение хочется сказать, что волновая терапия – это один и самых перспективных и лучших методов исследования и лечения в современной медицине. Этот способ не только точен, но и безболезненный и эффективный. Развитие данного метода происходит постоянно и появляется новая, высокоточная аппаратура, которая продвигает уровень медицины вперед и позволяет узнавать и предотвращать заболевание в более быстрые сроки.

Литература

1. Пономаренко Г.Н. Применение аппарата ударно-волновой терапии BTL SWT в клинической практике / М: ГБОУ ВПО ПСбГМУ, 2015, – 19 с.
2. Гарилевич Б.А., Семенов А.А., Гуревич К.Г., Нагорнев С.Н., Радченко С.Н., Пузырева Г.А. Ударно-волновая терапия: состояние проблемы и возможности применения в клинической практике // Курский научно-практический вестник "Человек и его здоровье". – 2017. – №3. – С. 1-5.
3. Ненахова Е.В., Николаева Л.А. Ультрафиолетовое излучение. Влияние ультрафиолетового излучения на организм человека / Иркутск: ИГБУ, 2020. – 58 с.
4. Соловьева А.А. Лекция № 7 «Светолечение. Лазеротерапия» [Электрон. ресурс] <https://akush.spb.ru/prepodavateli/soloveva/>. (дата обращения 14.11.2021).
5. Истомина И.С. Крайне высокочастотная терапия в клинической практике (часть I) // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - Т. 11. - №2. - С. 47-52.

6. Истомина И.С. КВЧ-терапия в клинической практике (Часть II) // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - Т. 11. - №6. - С. 38-45.
7. Артемова Н.М., Малыгин А.Г., Соколов А.В. Ультразвуковая терапия как корректирующая технология восстановительной медицины / Рязань: РИО РГМУ, 2011, – 74 с.
8. Кипенский А.В., Шамардина В.Н., Дейнеко Д.М. Ультразвуковая терапия: Учебно-методическое пособие. / Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – 48с. – Рус. Яз.
9. Кипенский А.В., Колесник К.В. УВЧ-терапия / Харьков: НТУ «ХПИ», 2018, –52 с.

ЭЛЕКТРОТЕРАПИЯ КАК ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВОЗДЕЙСТВИЯ

**А.С. Гусев, П.А. Романова, М.Ю. Комбаров, Г.И. Абрамов, А.С. Бекетов,
М.Ю. Нечаев (ред. О.А. Бордаченкова)**

Статья посвящена электротерапии, как одной составляющей части физиотерапии. Наша цель – изучить историю возникновения и развития этого физиологического метода влияния, его способов и границ применимости. Однако, в первую очередь, мы озабочены современным состоянием науки физиотерапии, поэтому считаем возможным рассматривать ее потенциал и перспективы развития.

Введение

Физиотерапия – наука о лечебном применении факторов внешней среды в их естественном или аппаратном виде. В начале лечебные физические факторы использовались только с целью долечивания больных с хроническими заболеваниями, но сейчас область их применения значительно шире. Основными направлениями физической медицины в настоящее время являются:

- лечебное;
- реабилитационное;
- профилактическое.

Лечебные цели физических факторов применяются преимущественно при подостром и хроническом течении болезней, в меньшей степени – в остром периоде заболеваний терапевтического и хирургического профиля.

Второе направление использования целебных физических факторов – реабилитационное. При этом в реабилитационный период обязательно используются физические методики – электротерапия, массаж, лечебная физкультура, ЛФК, механотерапии, бальнеотерапии и др. У больных неврологических и ортопедических профилей физиотерапия является основным методом медицинской реабилитации.

Последнее направление использования физических факторов – профилактическое. То есть, оздоровление и предупреждение заболеваний человека путём использования естественных и искусственно создаваемых физических факторов.

Особый интерес к физическим факторам вызван не только их широкими лечебно-профилактическими возможностями, но и теми преимуществами, которые они имеют по сравнению с другими лечебными средствами, в частности:

- 1) универсальность их действия, благодаря чему один и тот же фактор может применяться при самых различных заболеваниях;
- 2) совместимость с другими лечебными средствами, повышение их эффективности в несколько раз;
- 3) физиологичность и безболезненность. Физические факторы, являясь элементами внешней среды, представляют собой привычные для организма раздражители, к которым в процессе индивидуального развития вырабатываются безусловные рефлексы;
- 4) отсутствие токсичности, побочных эффектов и алергизации организма (в терапевтических дозировках). В этом одно из важнейших преимуществ физиотерапии перед фармакотерапией;
- 5) длительное последствие и тренирующий эффект;
- 6) доступность, сравнительная дешевизна.

1. Историческая справка

Причины и время возникновения физиотерапии

Физиотерапия зародилась на заре цивилизации как результат общения человека с природой [1]. Как известно, еще за тысячи лет до нашей эры люди начали применять в лечебных целях природные физические факторы. Во времена древних врачей они активно использовали в своей практике грязи и минеральные воды, климат.

Люди, жившие на берегах Средиземного моря, наблюдали, что прикосновение к телу человека некоторых разновидностей рыб (скатов, угрей, сомов) вызывает подергивание мышц, ощущение онемения, успокаи-

вает боль. Врачи Древней Индии в течение двух тысяч лет до нашей эры впервые описали методы и технику лечебного массажа.

Самым известным целителем, который считается основоположником применения физиотерапевтических методов лечения, является Гиппократ. Именно он написал множество трактатов о влиянии природы на здоровье человека и возможности лечения при помощи климатических факторов. Благодаря ему физиотерапия стала развиваться не только в древней Греции, но и в других странах.

Этапы развития, достижения XX века

Водолечение, массаж и движения считались основными лечебными методами в медицинской школе римского врача Асклепиада (114-59 гг. до н.э.). Клавдий Гален (131-201 гг. н.э.) назначал при лечении травм приемы массажа, а Плиний (123-156 гг. н.э.) – лечебную грязь.

В эпоху Возрождения в Европе естествоиспытатели (Парацельс, Р. Бройль, У. Джилльберт, Б. Франклин и др.) стремились использовать результаты своих опытов с атмосферным электричеством и другими природными факторами для лечения больных. Начиная с создания в первой половине XVIII в. искусственных источников, каждое новое открытие в этой области физики сразу же приводило к попыткам его применения в медицине.

К началу XIX в. описательный подход к изучению природы был окончательно вытеснен научным, а также было накоплено большое количество клинико-экспериментальных лечебных знаний. Арсенал физических методов лечения в этот период существенно расширился, прежде всего, за счет переформированных физических факторов. Так, благодаря трудам талантливых ученых-экспериментаторов Л. Гальвани и А. Вольта, открывшим явление «животного электричества» и создавшим источник постоянного электрического тока, В.В. Петровым в 1803 г. были проведены первые исследования механизмов лечебного действия гальванизации [2].

На основе созданного Э. Дюбуа-Реймоном медицинского магнето Б. Де Дюшеном (1847) и Р. Эрбом (1852) были разработаны методики электростимуляции и определено расположение электродвигательных

точек нервов и мышц, что заложило основы электродиагностики. В разработку импульсной электротерапии заметный вклад внес И.Ф. Цион.

Обоснование Максвеллом теории электромагнитного поля стимулировало создание первого аппарата для франклиннизации, метода физиотерапии, основанного на использовании постоянного электрического поля высокой интенсивности. В XIX веке, в медицинскую практику были внедрены аппаратные методы фототерапии. Благодаря работам И. Гершеля, А. Блаунта, А.Н. Маклакова были получены первые сведения о механизмах физиологического и терапевтического действия ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, и началось их широкое терапевтическое применение.

2. Физиологические основы

Основные направления

Физические факторы классифицируются следующим образом [3]:

- 1) электrolечебные;
- 2) магнитолечебные;
- 3) фотолечебные;
- 4) гидролечебные;
- 5) теплолечебные;
- 6) механолечебные;
- 7) радиолечебные;
- 8) грязелечебные;
- 9) климатолечебные.

Принцип воздействия электрического тока на тело человека

Давайте обратимся к заявленной нами теме, а именно к электротерапии. Из названия следует, что это напрямую связано с физическими факторами из первой группы.

Электрический ток – это направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц. По способности веществ проводить электрический ток они делятся на проводники и диэлектрики.

Проводники электрического тока делятся на две группы: металлы, проводимость которых обусловлена движением свободных электронов, и

электролиты, где носителями заряда являются ионы. Живые ткани - это электролиты-проводники и диэлектрики. Плазма крови, спинномозговая жидкость обладают наибольшей электропроводностью, а цельная кровь, мышцы и паренхиматозные органы имеют несколько меньшую электропроводность. Большое сопротивление электрическому току создают кости, жировая ткань, фасции, сухожилия и другие соединительнотканые образования. Сухая кожа, волосы, ногти приближаются к диэлектрикам.

Ток проникает в ткани через устья сальных и потовых желез, волосяные фолликулы, межклеточные промежутки и пространства. При длительном воздействии его проникновение в ткани происходит через всю кожу. При некоторых терапевтических методах электрический ток подается к тканям через слизистые оболочки, поверхность ран [4].

Идея физиологических реакций, возникающих под воздействием постоянного электрического тока, основана на ионной теории возбуждения. Ионы калия, натрия, кальция и магния играют в нем важную роль. Так, когда цепь замыкается из-за их движения под катодом, возбудимость ткани увеличивается, а под анодом уменьшается. На основе этой закономерности строятся различные виды электротерапии. Среди них гальванизация, лекарственный электрофорез и интерференционная терапия.

Показания и противопоказания

Чаще всего электротерапия назначается для лечения [5]:

- 1) суставов (артроза, артрита);
- 2) мышц (их атрофии);
- 3) сердечно-сосудистой системы;
- 4) всевозможных проблем с позвоночником (остеохондроз, грыжи);
- 5) болезней нервной системы (бессонницы, неврозов);
- 6) любых болевых синдромов;
- 7) болезни Рейно;
- 8) варикоза;
- 9) язв;
- 10) гипертонических болезней (до 3 степени);

- 11) воспаления кожных покровов (хронические);
- 12) воспаления в области половых органов;
- 13) параличей разных типов;
- 14) дискинезии желчевыводящих путей;
- 15) для улучшения состояния кожи.

Этот вид физиотерапии имеет и ряд ограничений:

- 1) эпилепсия;
- 2) лихорадка;
- 3) различные образования (опухоли и т.п.);
- 4) инфекции;
- 5) серьёзные нарушения кровообращения;
- 6) гипертония 3 стадии;
- 7) тромбоз;
- 8) кровотечения;
- 9) беременность;
- 10) туберкулёз в активной стадии;
- 11) рассеянный склероз;
- 12) моче- и желчнокаменная болезни;
- 13) болезнь Паркинсона.

3. Физические основы

Гальванизация

Одним из методов электротерапии является гальванизация, которая проводится с помощью устройства для гальванизации (устройство показано на рисунке 1). Гальванизация — это использование в терапевтических целях непрерывного постоянного тока малой силы (до 50 мА) и низкого напряжения (30-80 В), подаваемого на организм контактным путем, через электроды [6]. Постоянный ток вызывает сложные биофизические процессы в тканях, связанные с нарушением количественного и качественного соотношения ионов. Специфической особенностью действия постоянного тока является направленное движение положительно или отрицательно заряженных ионов, содержащихся в сложных тканевых рас-

творах, которые расположены между электродами. Отрицательные ионы движутся к положительному полюсу (аноду), а положительные заряды движутся к 2 отрицательным полюсам (катоде). Приближаясь к металлическому электроду, ионы теряют свой заряд, поскольку происходит электролиз, и превращаются в химически активные атомы, которые вступают в реакцию с водой и образуют продукты электролиза на металлических пластинах.



Рисунок 1 - Аппарат для гальванизации

Электрофорез

Другим методом электротерапии является лекарственный электрофорез.

Медицинский электрофорез — это комплексный метод электротерапии, при котором на тело пациента воздействует однонаправленный ток и лекарственное вещество, вводимое в организм через этот ток (устройство для электрофореза показано на рисунке 2).



Рисунок 2 – Аппарат для электрофореза

Основными путями проникновения лекарственных препаратов в организм во время электрофореза являются выводные протоки потовых и сальных желез или слизистых оболочек. Проницаемость лекарственного вещества зависит от области введения. Наиболее проницаемой кожей является лицо, подмышечные впадины, живот, затем предплечье, поясничная область, бедро, голень. Это связано с различным электрокожным сопротивлением, состоянием выделительной функции кожи и значением pH отдельных ее участков [6].

Физические принципы электрофореза: Заряженные атомы и молекулы движутся к противоположному полюсу внутри гальванического поля. Этот метод позволяет проникать в кожу достаточно большому количеству лекарств, по сравнению с мазями и аппликациями. Препарат накапливается в коже, откуда распространяется и действует в течение длительного времени. В связи с этим частота применения зависит от периода полураспада препарата. Препарат должен проводить электрический ток и накладываться под электродом одинаковой полярности - положительные ионы под анодом, отрицательные под катодом.

Интерференцтерапия

Другим методом электротерапии является интерференционная терапия.

Интерференционная терапия — это метод электротерапии, при котором два или более переменных тока средних частот прикладываются к телу пациента с помощью двух или более пар электродов таким образом, чтобы они могли взаимодействовать друг с другом (устройство для интерференционной терапии показано на рисунке 3).

В методе интерференционной терапии обычно используются переменные синусоидальные токи с частотами в диапазоне 3000-5000 Гц. При этом частота одного из них постоянна, а частота второго автоматически или вручную изменяется в заданных пределах так, чтобы она отличалась от первой на 1-200 Гц. В результате интерференции вместо двух начальных токов средней частоты внутри тканей образуется новый переменный, интерференционный (ток Немес), низкочастотный ток [6]. В основе дей-

ствия интерференционных токов лежат кратковременные изменения ионной конъюнктуры тканей, в особенности у клеточных оболочек и других полупроницаемых мембран, приводящие к возбуждению клетки и повышению ее специфической активности. Это возбуждение, охватывая нервы и мышечные волокна во время действия 6 максимальных амплитуд тока, вызывает ритмические двигательные возбуждения мышечных волокон и проприорецепторов.



Рисунок 3 – Аппарат для интерференцтерапии

4. Физиотерапия в современном мире

Физиотерапия развивается с каждым годом, что позволяет специалистам проводить необходимые и наиболее физиотерапевтические процедуры безболезненно и эффективно. В страны, опережающие другие по технологиям физиотерапии, входят Российская Федерация, Израиль, США и страны ЕС.

Отечественная эксплуатация

Электрофорез - очень популярное лечение в России. Она проводится как самостоятельная процедура, как с применением медикаментов, так и без них. Распространенным примером могут служить устройства «Поток-1» и «Поток-2», которые позволяют проводить самолечение. Метод электрофореза подходит для пациентов с патологиями в области пульмоноло-

гии (хронический бронхит, бронхоэктазы, бронхиальная астма), опорно-двигательного аппарата и стоматологии.

В детских санаториях в качестве профилактических процедур широко применяется физиотерапия. Озокерит (вещество нефтяного происхождения) особенно часто используется в этих условиях. Его назначают пациентам с патологиями в области гастроэнтерологии.

Магнитотерапия применяется при травмах опорно-двигательного аппарата. Это позволяет ускорить регенерацию тканей, снять боль, остановить процесс воспаления, восстановить подвижность суставов и функции пораженных органов.

Методика Израиля

Современные методы физиотерапии в израильской медицине основаны на использовании внутренних резервов организма. Это сводит к минимуму вредные последствия и стабилизирует результаты, которые сохраняются в течение более длительного периода. Наиболее активно используются устройства для домашней физиотерапии, например, "Handy Cure" («удобное лекарство» – англ.) — сочетает в себе свойства магнитной и лазерной терапии, снимает болезненность и воспаление, а также используется при заболеваниях опорно-двигательного аппарата и «Вирео» - инновационное устройство, которое использует фототерапию для активации регенеративных процессов.

Высокотехнологичная Америка

Соединенные Штаты Америки разрабатывают новые методы физиотерапии как отдельную научную отрасль с 1947 года. В стране существует большое количество профессиональных сообществ, которые ежегодно обсуждают перспективы развития сферы и современные разработки, используемые для оказания медицинской помощи.

Новейшей разработкой американских ученых в этой области является робототехника. Это новое слово в физиотерапии, которое означает использование высокотехнологичных устройств для обеспечения подвижности человека и полного восстановления функций конечностей. Методи-

ка особенно актуальна для людей с травмами опорно-двигательного аппарата, а также при расстройствах в области неврологии.

Новинкой в этой отрасли является устройство "Lokomat". Он используется для избавления от паралича, «напоминая» мышечным и мозговым клеткам о том, как происходило движение до развития болезни, что вновь запускает в них активность.

Физиотерапия в странах ЕС

Инновационная современная физиотерапия широко распространена в Венгрии, Германии и Польше. Эти страны предлагают доступное и высокотехнологичное лечение, за которым люди приезжают из-за рубежа.

К новейшим методикам относятся: кинезотерапия - лечение движением, напоминающее физиотерапию, но более эффективное при меньших рисках (актуальный метод восстановления после инсультов и инфарктов); кинезиотейпинг - современная физиотерапия мышечных патологий с использованием лент, которые фиксируют поврежденные участки, что позволяет регулировать скорость восстановления подвижности и нагрузки на больной орган; психотерапия с использованием устройств, контролирующей работу мозга, - позволяет избавиться от психогенных заболеваний, а также найти причину их появления и устранить её.

5. Перспективы развития

Постараемся дать прогноз развития физиотерапии на ближайшие годы. Несомненно, внедрение в медицинскую практику новых методов будет продолжаться, развитие которых обусловлено достижениями медицины, физики и техники. В ближайшем будущем появятся перестраиваемые частотные лазеры, низкочастотный и сфокусированный ультразвук, низкотемпературная плазма, электрофорез кожных систем, новые искусственные аналоги природных лечебных факторов и др. появится. он будет использоваться в медицине. Вычислительные методы, а также широкий спектр комбинированных физиотерапевтических воздействий будут более активно внедряться в практику. В то же время применение аппарат-

ных методов физиотерапии должно быть расширено как простое, более экономичное и достаточно эффективное.

В ближайшее время необходимо стремиться к дальнейшей интеграции физиотерапии с ЛФК, рефлексотерапией и мануальной терапией, что требует внесения коррекции в последипломную подготовку врачей-физиотерапевтов и врачей клинического профиля.

Вопросы автоматизации и механизации физиотерапевтических процедур и технологий требуют пристального внимания. Крайне важно наладить производство простейших одноразовых физиотерапевтических аппаратов и различных простых приспособлений для иглоукалывания [7].

Одним из слабых мест современной физиотерапии остается отсутствие общей теории действия лечебных физических факторов, и поэтому работа над ней является одной из перспективных научных задач.

Одной из очень важных, сложных и многомерных проблем физиотерапии является проблема оптимизации физиотерапевтических воздействий. Её важность для медицины определяется возможностью получения наилучших терапевтических результатов при минимальной нагрузке на организм. Для того чтобы физиотерапевтическое воздействие было оптимальным и эффективным, его следует проводить с учетом индивидуальных особенностей организма, специфики применяемого.

Заключение

Поскольку многие физиологические процессы связаны с появлением разности потенциалов или электрического тока, электромагнитное поле и электрический ток могут оказывать, в зависимости от их силы и частоты, разнообразное влияние на состояние отдельных органов и организма в целом. В связи с чем, электротерапия как физиотерапевтический метод лечения имеет большой потенциал как на современную, так и на будущую медицину.

Литература

1. История физиотерапии. [Электронный ресурс] URL: [http://www.stgau.ru/company/personal/user/13442/files/lib/Физиотерапия%20%20курс/история%20физиотерапии%20\(текст\).pdf](http://www.stgau.ru/company/personal/user/13442/files/lib/Физиотерапия%20%20курс/история%20физиотерапии%20(текст).pdf) (дата обращения 16.10.2021).
2. История развития физиотерапии. [Электронный ресурс] URL: <https://reabilitaciya.org/vidy-reabilitacii/fizioterapiya/92-istoriya-razvitiya-fizioterapii.html> (дата обращения 16.10.2021).
3. Физиотерапия: что это, для чего нужна, виды, показания и противопоказания. [Электронный ресурс] URL: <https://profmed.center/blog/fizioterapiya-cto-eto> (дата обращения 16.10.2021).
4. Венцак Е. В. Физиотерапия и физиопрофилактика [Текст]/Е.В. Венцак. – Иркутск: Издательство ИГМУ, 2019. - 144 с.
5. Электротерапия: виды, показания и противопоказания. [Электронный ресурс] URL: <https://pirogov-clinic.com.ua/services/fizioterapiya/elektroterapiya/> (дата обращения 16.10.2021).
6. Лукомский И.В. Общая физиотерапия [Курс лекций]/И.В. Лукомский. – Витебск: Издательство ВГМУ, 2001. – 98 с.
7. Пономаренко Г.Н. Актуальные вопросы физиотерапии [Курс лекции] – СПб, 2010. – 238 с.

ЭЛЕКТРОСОМАТОГРАФ

А.С. Пасечник, Г.Н. Тулин, А.А. Сорокин, А.О. Поляков,
А.Ю. Самбуров (ред. Д.И. Левченков)

Работа представляет собой обзор технологии всестороннего обследования организма человека на основе метода электросоматографии (ЭСГ), в том числе её принципа действия, области применения, достоинств такого обследования и его возможных противопоказаний.

Введение

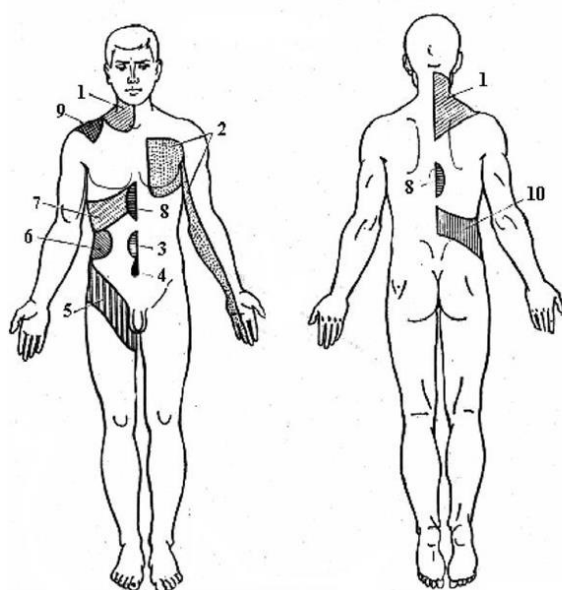
В настоящее время существует множество диагностических медицинских приборов, однако почти все они предназначены для изучения состояния конкретного органа или системы. Например, ультразвуковое исследование (УЗИ) применяется для исследования отдельно взятых органов [1], электрокардиограмма (ЭКГ) – для изучения работы сердца [2]. Однако эти методы в силу своей локальности не дают возможности провести быстрый аппаратный скрининг, то есть обследование для поиска нарушений во всём организме. Для такой задачи был разработан метод электросоматографии (ЭСГ) [3], который заключается в графической донологической топической экспресс-оценке функционального состояния человека. Данная методика позволяет быстро и точно отразить на графической модели человеческого тела зоны с различными электрическими потенциалами, выявляя нарушения даже на ранней стадии, при отсутствии клинических проявлений. Метод, разработанный во Франции, первоначально называемый *Dépistage et Diagnostic Fonctionnel Assisté par Ordinateur (DDFAO)*, что означает «скрининговая компьютерная функциональная диагностика» [4]. При разработке диагностического комплекса разработчики стремились к простоте в использовании, надёжности и автоматизированности процесса диагностики, который за короткий срок давал бы полную и достоверную картину состояния организма.

Аппараты компьютерной диагностики организма DDFAO – это сложные устройства, но пользоваться ими могут как врачи общей практики,

так и средний медицинский персонал. Главное требование – знание программного обеспечения, которое поставляется вместе с оборудованием DDFAO.

1. Принцип работы ЭСГ (метод электросоматографии)

Электросоматография основана на анализе биоэлектрических процессов в активных зонах на коже. Известно, что определенные участки кожи (зоны Захарьина-Геда в соответствии с рисунком 1) связаны через спинной мозг с внутренними органами [4]. Этими зонами считаются ограниченные участки кожи (зоны), в которых при заболеваниях внутренних органов часто появляются отраженные боли, а так же изменения чувствительности в виде болевой и температурной гиперестезии.



- 1 - легкие и бронхи,
- 2 - сердце,
- 3 - кишечник,
- 4 - мочевого пузыря,
- 5 - мочеточник,
- 6 - почки,
- 7, 9 - печень,
- 8 - желудок и поджелудочная железа,
- 10 - мочеполовые органы.

Рисунок 1 - Зоны Захарьина-Геда

Поиск органов с патологическими изменениями их функционирования и нарушенной вегетативной регуляцией производится путем кратковременного воздействия на организм слабого электрического тока (менее 50 мкА) и перекрестного сканирования зон кожи головы, туловища и конечностей. Применяя закон Ома, выявляются области наименьшего, нормального и высокого сопротивления на теле на определенных участках (в зонах Захарьина-Геда (рис. 1)), благодаря чему можно оценить соответ-

ственно повышенную, физиологическую (нормальную) или пониженную биопроводимость, что позволяет получить информацию о состоянии того или иного органа [4].

Для получения результатов на 6 электродов (см. рисунок 2) последовательно подаются короткие слабые электрические импульсы разной полярности. Затем компьютерная программа выполняет перекрестное сканирование в 15 отведениях. Биоэлектрическая проводимость каждой межэлектродной цепочки (отведения) записывается в виде электросоматограммы (рис. 3) [4].



Рисунок 2 - Комплектация электросоматографа

Этот метод имеет ряд преимуществ:

- на проведение скринингового обследования необходимо не более минуты, что значительно упрощает и ускоряет процесс предварительного обследования.

- процедура диагностики почти полностью автоматизирована и может проводиться без участия врача. По завершении измерений программа выдаёт подробный отчёт с наглядными иллюстрациями, графиками и рекомендациями.

- обследуемый не испытывает дискомфорта благодаря слабой силе тока, использующегося во время исследования.

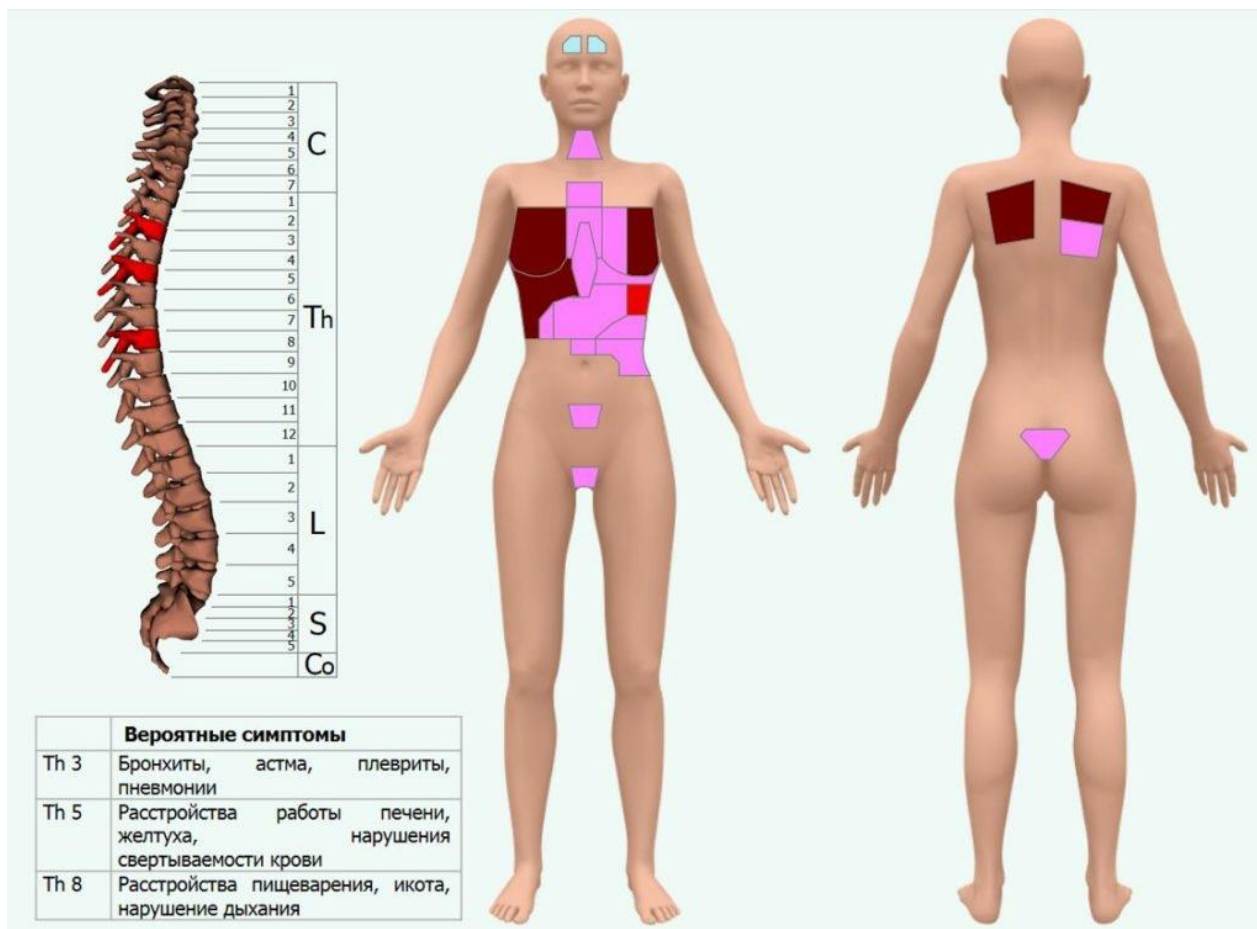


Рисунок 3 - Пример электросоматограммы

2. Применение ЭСГ

Одна из полезных возможностей электросоматографии — скрининг функциональных и адаптивных резервов организма, то есть оценка его способности к самовосстановлению.

Программа сравнивает результаты измерений с нормальными показателями, и прибор выдает заключение с предположительными нарушениями и рекомендациями, поэтому ЭСГ незаменима для выявления ранних нарушений, когда у обследуемого человека ещё не проявляются их симптомы.

При проведении регулярных скрининговых обследований легче контролировать состояние организма во время похудения, спортивных тренировок и прочих оздоровительных процедур. Так как человек постоянно следит за состоянием своего тела, становится легче корректировать мето-

ды воздействия на организм, что позволяет избежать негативных последствий при смене режима питания или физических нагрузок.

Электросоматография особенно полезна пациентам, не имеющим возможности внятно озвучить, что именно их беспокоит, в силу физиологических или психологических причин.

3. Процедура скрининговой диагностики

Обследование по методу электросоматографии с использованием АПК «Медсканер БИОРС-05» проводится в положении сидя или стоя.

На обследуемом человеке закрепляются 6 электродов согласно пояснительным рисункам в программе. На полированные металлические пластины помещаются ступни ног, в руках зажимаются цилиндрические электроды, а на лбу электроды закрепляются ремнем (риск поражения электротоком исключен, так как прибор получает питание через USB-порт и не подключается к бытовой сети). После запуска программы начинается процесс сканирования. Затем данные в виде электросоматограммы (см. рисунок 3) поступают в компьютер для обработки. Впоследствии выдается заключение о состоянии здоровья пациента в графическом и текстовом виде с рекомендациями по профилактике и терапии.

Существует 2 типа измерений:

- с автоматическим регулированием: параметры 70/0/100/100. Речь идет об измерении, производимом по нормам, установленным на основе 10 000 замеров. Это измерение позволяет судить о функционировании каждого органа и системы относительно установленной нормы. В этом случае схемы и диаграммы, полученные при одном замере, могут различаться в зависимости от времени суток в связи с биологическими ритмами человека,

- полностью автоматическое измерение: система регистрирует ветвь 1 пациента, которая включает в себя все ткани различного эмбриологического происхождения и копируется на это значение, чтобы определить значение других ветвей. Такое измерение позволяет судить о функционировании каждого органа и системы по всему организму. Следовательно,

это измерение позволяет определить взаимосвязь различных органов и систем и учитывать хронобиологию (биоритмологию) [4].

Способности системы не ограничиваются только диагностикой: отдельно поставляемые модули позволяют проводить сеансы биорезонансной терапии, дать советы по питанию, дополнительным обследованиям, оценить психологическое состояние человека.

4. Получение достоверных результатов

Крайне важно, чтобы электроды плотно прилегали к коже. Из-за плохого контакта часто происходит искажение результатов (рис. 4).



Рисунок 4 – Исследование при помощи электросоматографа

Головные электроды в соответствии с рисунком 4 следует подвигать в стороны, убрать из-под них волосы, тщательно протереть лоб влажной

салфеткой, поскольку плохой контакт со лбом является наиболее частой причиной получения неточных результатов.

Для лучшей электропроводимости электроды смачивают 9%-ным солевым раствором.

Также во избежание искажения данных в день обследования следует отказаться от курения, алкоголя, гормональных, гипотензивных, противовоспалительных, психоактивных и мочегонных препаратов.

5. Противопоказания

Противопоказаниями к прохождению электросоматографического исследования являются:

- наличие встроенного электрокардиостимулятора,
- повреждение кожи на ладонях, подошвах ног или на лбу (в местах контакта с электродами),
- менструация или беременность. [3]

Заключение

Метод электросоматографии позволяет в короткие сроки провести обследование для поиска нарушений по всему организму. На его основании врач может ставить предварительный диагноз, или направить на более подробное обследование или лечение. Метод получил широкое распространение и успешно применяется в клиниках, санаториях, оздоровительных центрах, фитнес-клубах, косметологических салонах.

Литература

1. Илясов Л.В. Биомедицинская измерительная техника: Учебное пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2007.
2. Вебстер Дж.Г., Камышко И.В., Калашник Д.А. Медицинские приборы. Разработка и применение. М.: Мед. кн., 2004.
3. Ишманов М.Ю., Попов С.А. и др. Медицинская аппаратура. Полный справочник. М.: Эксмо, 2007.
4. Николаев С.Г. Атлас по электромиографии. Иваново: ПресСто, 2015.

СИСТЕМА «МОЗГ – КОМПЬЮТЕР»

**Н.А. Колесник, А.С. Дьячкова, А.А. Тилла, О.Н. Гневашева,
И.А. Кошенков (ред. Д.И. Левченков)**

Цели, поставленные авторами статьи: познакомить с термином ИМК; предоставить краткую, однако насколько возможно полную достоверную информацию об общем методе действия, о возможностях и перспективах данных приборов. Структурировать данную информацию, сделать её удобной для быстрого ознакомления с данным типом устройств.

Введение

Интерфейс мозг-компьютер (ИМК) – это устройство, позволяющее управлять внешними техническими системами непосредственно сигналами мозга.[2] Данная статья посвящена интерфейсам «Мозг – компьютер» (ИМК), в ней рассмотрена физиология мозга и некоторые процессы, происходящие в нём, рассмотрены основные методы записи информации с мозга, классификация ИМК, а также история развития и перспективы данных систем. ИМК это сложная система, использующая разнообразные технические решения, биологические особенности мозга и нервной системы. В настоящее время ИМК быстро совершенствуются благодаря развитию вычислительных мощностей, методов записи сигналов, цифровой обработки этих сигналов и робототехники. Несомненно, изучение устройства ЦНС и мозга открывает перед человечеством огромные перспективы. [8]

1. История становления ИМК

Изучением разнообразных технологий протезирования конечностей и других подходов к восстановлению функций тела человека учёные занимаются не один десяток лет. И только с недавнего времени появились возможности для практически полного восстановления или компенсации утраченных функций. Это стало возможно благодаря прогрессу в области способов исследования нервной системы. Технология «мозг – компьютер»,

основанная на регистрации и классификации паттернов (шаблонов) мозговой активности, является прогрессивной в изучении нервной системы.

Интерфейс «мозг-компьютер» (ИМК) — одна из самых многообещающих технологий в сфере лечения неврологических заболеваний и травм.[8] ИМК позволяет установить связь между неповрежденными участками мозга и протезами отсутствующих конечностей, инвалидными креслами, нейропротезами, искусственными органами чувств и другими устройствами, компенсирующими утраченные функции.

Уже в середине 60-х годов 20 века были проведены эксперименты на обезьянах, которым вживляли матрицы для регистрации потенциалов коры и электрической стимуляции. Было выявлено, что движения отражаются в изменении активности мозга, и наоборот, что стимуляция коры электрическими импульсами можно вызвать сокращение мышц.

В 1963 г. Walter провел эксперимент, в котором был реализован первый ИМК в том смысле, как мы его понимаем теперь. Пациентам по медицинским показаниям были трансплантированы электроды в разнообразные области коры головного мозга. Они нажимали на панель, переключая слайды проектора. Учёный подключил область коры, которая в процессе эксперимента отвечала за воспроизведение этого мышечного паттерна, напрямую к проектору. Пациенты нажимали на отключённую кнопку, но слайды продолжали переключаться: управление осуществлялось непосредственно мозгом, причем даже быстрее, чем человек успевал нажать на кнопку.

Понадобилось еще десять лет исследований, чтобы реализовать такое изменение: обезьяна научилась манипулировать курсором на дисплее, используя нейроны коры, отвечающей за движение.

Схожим исследованием в то же время управлял Fetz, перед исследователями стояла задача: сможет ли обезьяна манипулировать нейронами самопроизвольно? Обнаружилось, что произвольное управление деятельностью нейронов возможно даже и без совершения движений.

Одновременно с реализацией двигательных ИМК учёные создавали кинестетические интерфейсы. В 1957 г. французскими исследователями

Djourno и Eyriès удалось при помощи одноканального электрода, стимулировавшего слуховой нерв, спровоцировать звуковые ощущения у глухих.

В 1964 г. Simmons продемонстрировал многоканальный вариант разработки. В семидесятых годах House и Urban охарактеризовали приспособление, состоящее из звукопреобразователя и многоканального электрода, кохлеарным имплантатом. Разработка снискала одобрение Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (Food and Drug Administration). После последующих улучшений кохлеарный имплант был благополучно введён в неврологическую практику.

В 80-х гг. возобновились исследования, ориентированные на восстановление зрения при помощи ИМК. Полностью слепым в зрительную кору вживляли электродную матрицу. Порождаемые визуальные ощущения — специфические нейроэлектрофотопиксели — были названы фосфенами. Люди научились различать простейшие узоры из фосфенов. В данный момент электросимуляционное восприятие внедряется в неврологическую практику: изображение с камеры передаётся на нейроимпланты глаза или зрительной коры.

Скачок исследований ИМК пришелся на 1990–2000-е гг. Nicoletis и Charin спроектировали ИМК, манипулировавший биомеханическими конечностями. Это направление исследований было реализовано в ряде проектов: регулируемая корой головного мозга роботизированная рука, ИМК синтетической осязательной обратной связи, ИМК для считывания телодвижений ног и другие.

В начале двухтысячных несколько лабораторий начали противостоять друг другу в области разработки инвазивных ИМК. Группа учёных под руководством Donoghue вживили мультиэлектродные матрицы в двигательную кору человека, что позволило парализованным людям манипулировать курсором и роботизированными манипуляторами.

Schwartz и его коллеги исследовали на обезьянах управление движениями в трехмерном пространстве. В эксперименте с участием людей им удалось добиться предельного контроля в управлении антропоморфной

роботизированной рукой — возможно, это до сих пор наиболее продвинутая технология в этой сфере.

В процессе разработки ИМК Andersen, Shenoy и Vaadia, исследовавшие разнообразные участки коры в качестве источников сигналов для ИМК, создали новые алгоритмы считывания сигналов мозга.

Вместе с этим проводились исследования и по неинвазивным нейрологическим интерфейсам, в основу которых были заложены запись ЭЭГ, инфракрасная оксиметрия мозга и функциональная электростимуляция.

Таким образом, ИМК является достаточно новой технологией, однако может похвастаться множеством достижений, как в экспериментальной, так и в клинической практике. [8]

2. Физиологические основы

Головной мозг человека является самым сложным и уникальным органом человеческого тела и относится к центральной нервной системе, которая состоит из множества взаимосвязанных между собой нервных клеток и отростков.

Многообразие действий, выполняемых мозгом, чаще всего не зависят от нашего активного сознания. Мозг управляет почти всеми вегетативными функциями нашего тела, от концентрации питательных веществ, кислорода в крови, от гормонального статуса до температуры тела. Таким образом, в обязанности, выполняемые мозгом, входит множество действий, связанных с поддержанием функционирования организма.

Основной путь получения энергии нервных клеток – аэробное окисление глюкозы. Собственные запасы глюкозы в мозге невелики (2,5–4,0 мкмоль/г). Поэтому мозг нуждается в постоянном поступлении глюкозы из крови. Интенсивное поступление глюкозы из капилляров в клетки мозга обеспечивается работой специальных переносчиков глюкозы.

Метаболизм глюкозы обеспечивает 85-90% энергетических потребностей ткани для физиологической функции мозга посредством генерации АТФ. Жесткая регуляция метаболизма глюкозы имеет решающее значение для физиологии мозга, а нарушение метаболизма в мозге лежит в

основе ряда заболеваний, влияющих как на сам мозг, так и на весь организм.

Как показано на рисунке 1, специализированные центры в мозге, включая нейроны в гипоталамусе, определяют уровни центральной и периферической глюкозы и регулируют метаболизм глюкозы через блуждающий нерв, а также нейроэндокринные сигналы.

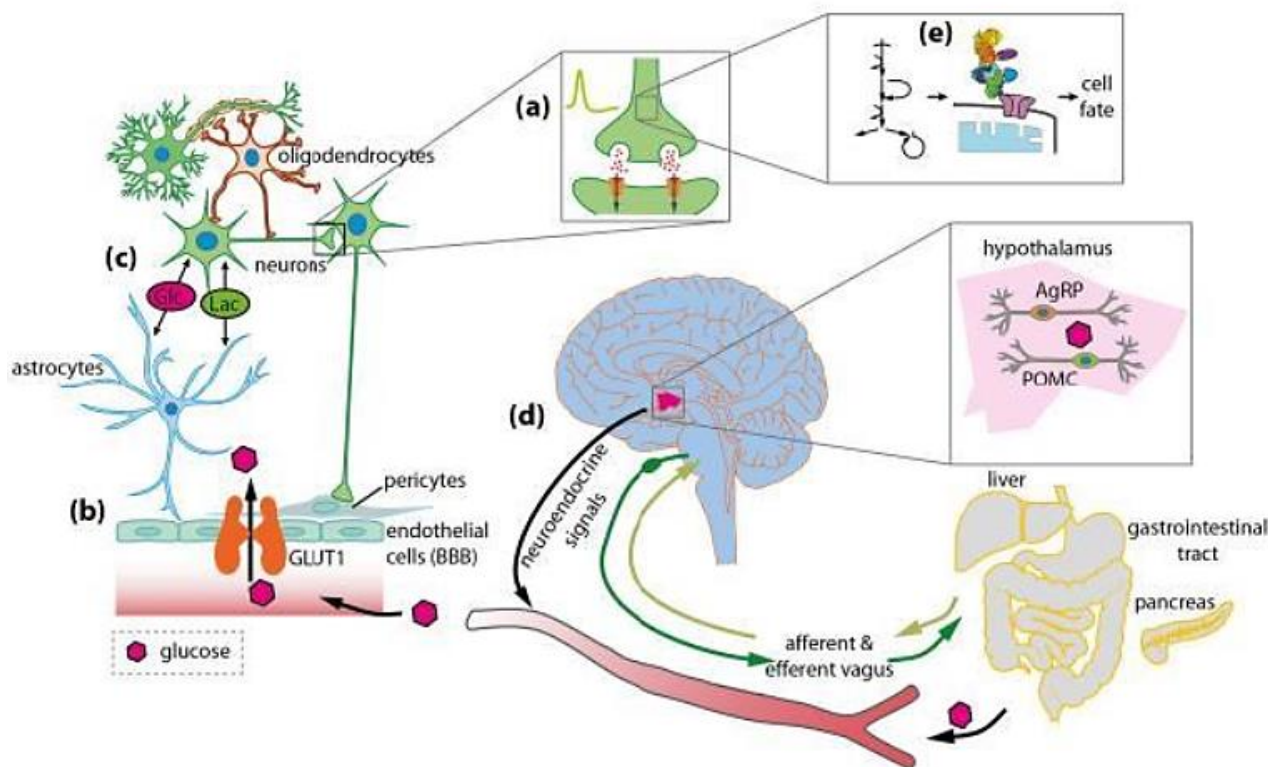


Рисунок 1 - Роль глюкозы в метаболизме

Внутричерепная электрическая активность нейронов во время регистрации позволяет получить наиболее прямые данные о работе живого мозга. Регистрируемую при этом кривую ритмической активности мозга стали называть электроэнцефалограммой (ЭЭГ). У здорового человека, в зависимости от условий регистрации, на ЭЭГ записываются несколько ритмов, в том числе четыре основных (альфа, бета, тета и дельта), различающихся по амплитуде и частоте волн (рисунок 2). На рисунке 3 показана электрическая активность, которая обусловлена передачей определённых электрических сигналов через аксоны нервных клеток (нейронов). В состоянии покоя внутренняя часть нейрона – протоплазма – имеет потенци-

ал покоя, характеризующийся напряжением в -70 мВ. Он обусловлен разностью концентраций ионов Na^+ во внешней среде и ионов K^+ в протоплазме нейрона.

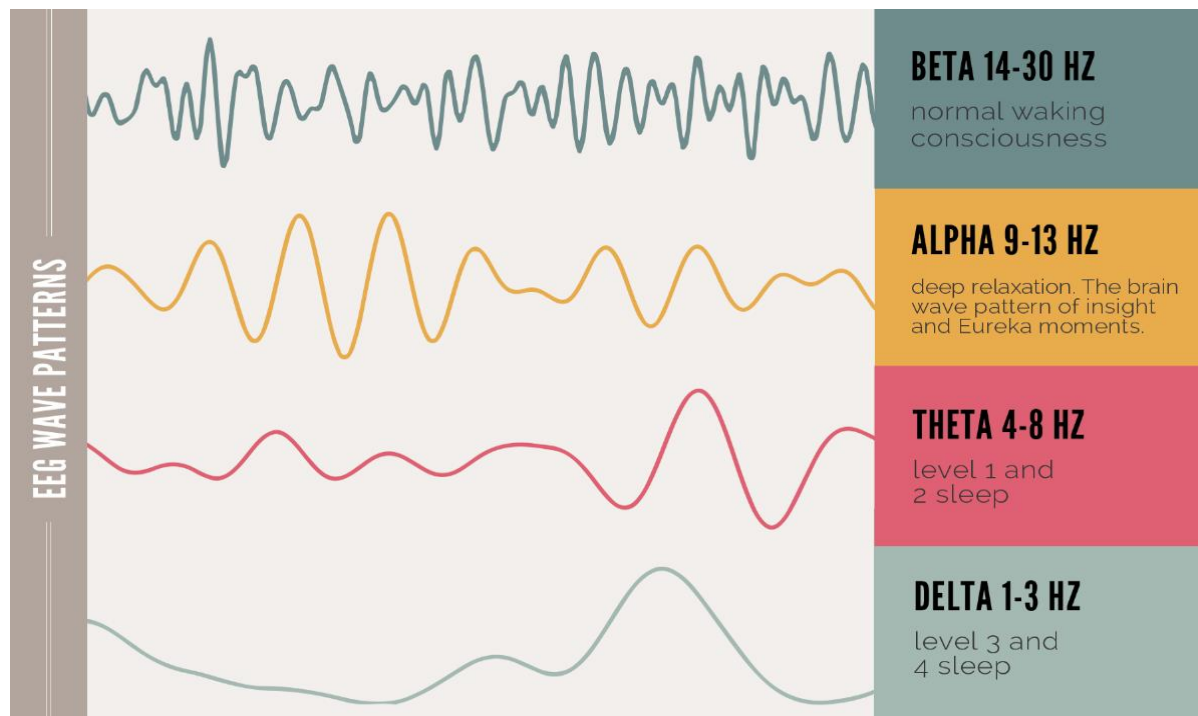


Рисунок 2 – ЭЭГ-сигналы



Рисунок 3 - Электрическая активность нейронов

Резервный кислород, имеющийся в веществе мозга, расходуется в течение 10-12 с. Поэтому даже кратковременное прекращение кровоснабжения может привести к необратимым процессам в нем.

Известно, что кровоснабжение головного мозга осуществляется сложной сосудистой системой, состоящей из двух пар магистральных сосудов головы — двух сонных и двух позвоночных артерий. В случае нарушения регуляции ее функционирования наступают расстройства кровообращения, процесс кровоснабжения мозга характеризуется относительной (в определенных пределах) независимостью от общей гемодинамики, обусловленной различными механизмами саморегуляции.

Механизмы, включенные в сложную систему, позволяют осуществлять регуляцию кровообращения мозга. Такая система способна к саморегуляции (т.е. может поддерживать кровоснабжение головного мозга в соответствии с его функциональной и метаболической потребностью и тем самым сохранять гомеостаз), что осуществляется путем изменения просвета мозговых артерий. Эти гомеостатические механизмы, развившиеся в процессе эволюции, весьма совершенны и надежны. Таким образом, система регулирования обеспечивает поддержку постоянного кровотока в мозг на достаточном уровне и быстро изменяет его при воздействии различных «возмущающих» факторов.

Теоретически, для управления интерфейсом мозг-компьютер можно использовать любое проявление активности головного мозга, будь то изменение магнитного поля, ток крови или изменение полярности мембраны нейронов. Наиболее часто изучаемые сигналы – это биоэлектрическая активность нейрональных клеток, связанная с изменениями полярности постсинаптической мембраны нейронов.

Таким образом, в мозге происходит множество процессов, отражающихся в электрической активности мозга и в его гемодинамики как то концентрации различных веществ (к примеру, глюкозы), насыщенности крови кислородом, разности давлений. [28]

3. Физические основы

Для создания программного обеспечения нейроинтерфейса требуются источник информации – сигнал, и анализ его физического смысла для корректного ответа. Информация может быть представлена в виде электрического поля, магнитного поля, потоками крови, химическими реакциями мозга. Интерфейс мозг-компьютер (англ. brain-computer interface (BCI); ИМК, нейрокомпьютерный интерфейс, прямой нейронный интерфейс) принимает сигналы мозга, анализирует их и преобразуют в команды, после чего они (команды) передаются на управляемые устройства (компьютер, протез и т.п.), которые выполняют желаемые действия.

Система Brain-computer interface (BCI), она же система “мозг-компьютер” (ИМК / МКИ). Интерфейс мозг-компьютер распознает ранее выявленные паттерны мозговой активности на электроэнцефалограмме, так работа с ИМК возможна только после специального обучения. Пользователь, после периода обучения, генерирует сигналы, кодирующие намерение, а ИМК в свою очередь распознает эти сигналы и передает приказ на выполнение необходимой команды (которая представляет собой намерение пользователя) подключенному к ИМК устройству.

Наибольшее признание получило такое определение, данное в работах Дж. Уолпау: “BCI – это коммуникационная система, в которой сообщения или команды, посылаемые во внешний мир, не проходят через обычные нормальные выходные каналы мозга в виде периферийных нервов и мышц”.

То есть электроэнцефалограф сам по себе не является ИМК, поскольку он только записывает сигналы мозга и не генерирует выходной сигнал, который должен обеспечить взаимодействие пользователя с окружающей средой (например, управление курсором компьютерной мыши).

По данному определению движение глаз, система связи, активируемая голосом или мышечным усилием (полноценным движением), так же не является ИМК, поскольку нет прямой связи с мозгом. В системах ИМК данные получают из биопотенциалов мозга, снятых с поверхности кожи головы (не инвазивный метод), или снятых с коры головного мозга и от

отдельных структур мозга (инвазивный метод). Томография, ЭМГ и ЭЭГ составляют основу не инвазивного метода. Электрокортикограмма (ЭкоГ) в свою очередь составляет основу полуинвазивного метода получения данных. У каждого метода есть свои ограничения.

Для вживления полуинвазивного (чип Link, презентованный Илоном Маском – полуинвазивный (рисунок 4)) и инвазивного НКИ требуется операция. Электроды вживляются прямо в кору мозга. Они регистрируют электрическую активность отдельных нервных клеток в области внедрения. У таких датчиков есть преимущество – сильный сигнал, однако существует риск осложнений из-за внедрения в организм. [6]

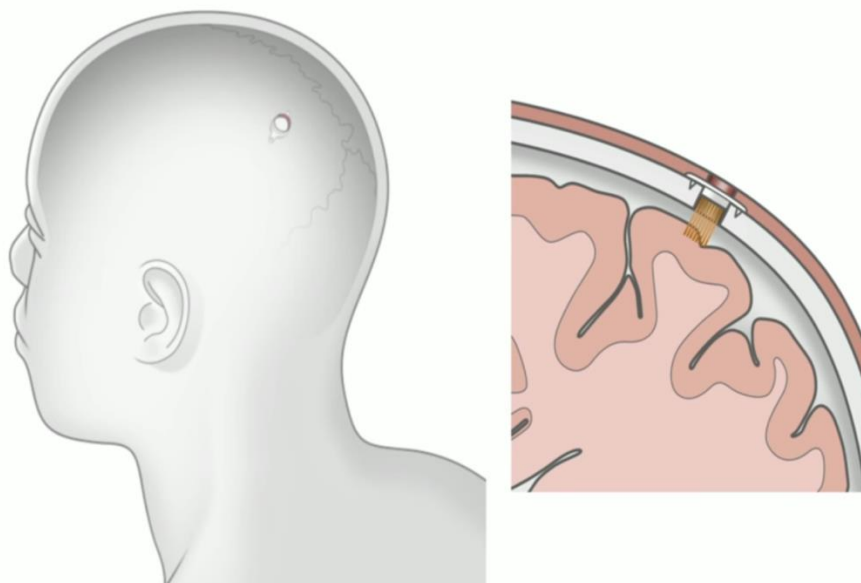


Рисунок 4 – Чип Link

В не инвазивном НКИ электроды прикрепляют к коже головы. Электрических полей, создаваемых нейронами мозга, вполне достаточно для улавливания поверхностными электродами. Этот метод давно применяется при снятии электроэнцефалографии.

Задачей интерфейса мозг-компьютер является обнаружение и количественная оценка характеристик сигналов мозга, указывающих на намерения пользователя, и преобразование этих функций в режиме реального времени в команды для устройства, которое выполняет намерение пользователя.

Для реализации этой задачи система ИМК выполняет 4 последовательных этапа (рисунок 5):

- 1) Обнаружение сигнала;
- 2) Выделение паттерна/признака;
- 3) Трансляция паттернов/признаков в команды управления;
- 4) Передача команды на управляемое устройство.

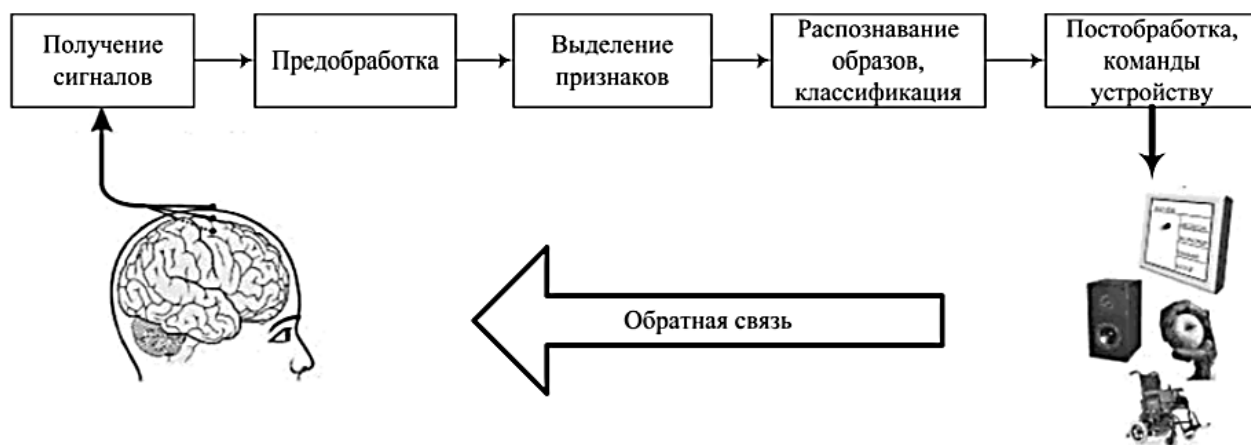


Рисунок 5 - Схема системы ВСИ

Эти 4 этапа контролируются операционным протоколом, который определяет начало и время работы, методы обработки сигналов, характер команд устройства и контроль за производительностью. Эффективный рабочий протокол позволяет нейроинтерфейсу быть гибкой системой и удовлетворять конкретные потребности каждого пользователя. [2]

Регистрация сигнала – это получение сигналов активности мозга с помощью электродов. Далее сигналы могут быть подвергнуты обработке.

Выделение паттерна или признака – это процесс анализа цифровых сигналов, позволяющий отличить характеристики сигнала, связанные с намерениями человека от постороннего фона. Их выделение, как правило, основывается на изменении амплитуды сигнала во времени, задержки отклика электроэнцефалограммы (P300), изменение мощности в определенных частотных диапазонах или скорости возбуждения отдельных нейронов коры головного мозга.

Полученные в ходе предыдущего этапа паттерны сигнала затем обрабатываются и преобразуются в команды для устройства вывода.

Алгоритм трансляции (преобразования паттернов) должен быть динамичным, чтобы приспосабливаться к спонтанным изменениям в характеристиках сигнала и адаптироваться к ним.

Программное обеспечение ИМК и управляемых устройств должны быть совместимы. Работа устройства обеспечивает обратную связь с пользователем, тем самым замыкая контур управления.

В оптимизированных системах добавляют дополнительную связь (neurofeedback) между компьютером и человеком (рисунок 6), когда идет выбор действий, это позволяет пользователю скорректировать ответ устройства – эффектора и быстрее адаптироваться к ИМК. [16]



Рисунок 6 - Оптимизированная схема системы “Мозг-компьютер”

Классификация BCI по анализу сигналов:

1) SCP-BCI (англ. slow cortical potential) на медленных корковых потенциалах. Принцип построен на сознательном удержании определенной активности мозга. Необходимо обучение;

2) ERP-BCI (англ. event-related potential, вызванный потенциал) электрическая реакция мозга на внешний раздражитель. Например, последовательно предъявляя картинки с цифрами и снимая ЭЭГ, можно определить ту букву/цифру, на которую будет потенциал P300, тем самым можно конструировать слова/числа последовательно выбирая нужное;

3) mu-BCI, SMR-BCI (англ. sensori motor rhythms, сенсомоторные ритмы). Примером может служить изменение амплитуды альфа ритма при открывании и закрывании глаз. Причем изменение ритмов может быть вызвано воображением действия. Не нужно длительное обучение. Такие BCI могут быть активны всегда или включаться лишь временно. Также в SMR-BCI может использоваться как принцип вызванных потенциалов, так и на определении волевых сигналов. [25]

5. Методы диагностики мозговой деятельности

В методах диагностики активной мозговой деятельности можно выделить следующие характеристики:

1) в каком виде представлена активность мозга, состояние нервной системы;

2) как снимаются показания, где датчик должен располагается для считывания нужной сигнатуры;

3) есть ли негативные последствия после применения данного метода;

4) эргономические удобства метода диагностики. Мобильность и сложность самостоятельного подключения человека к оборудованию.

Томографические методы: методы основаны на измерении и сложной компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского, ионизирующего и магнитного излучения различными по плотности тканями.

Данные методы включают в себя такие методики как магнитно-резонансную томография (МРТ) (рисунок 7), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ), компьютерную томографию (КТ) и их разновидности. В результате информация предоставляется в виде послойных изображений, либо трёхмерных изображений из собранных слоев. В зависимости от способа исследования используются для снятия информации такие аппараты как томограф, рентген. Также от данных методик имеются негативные последствия (при правильном использовании не влияют на дальнейшую дееспособность и здоровье, то есть имеют временный и нисходящий эффект). Самостоятельное подключение данных типов приборов невозможно, требуется наличие оператора установок. Еще одна особенность: нулевая мобильность, человек должен не двигаться все время диагностики. Оборудование сложное и дорогостоящее.

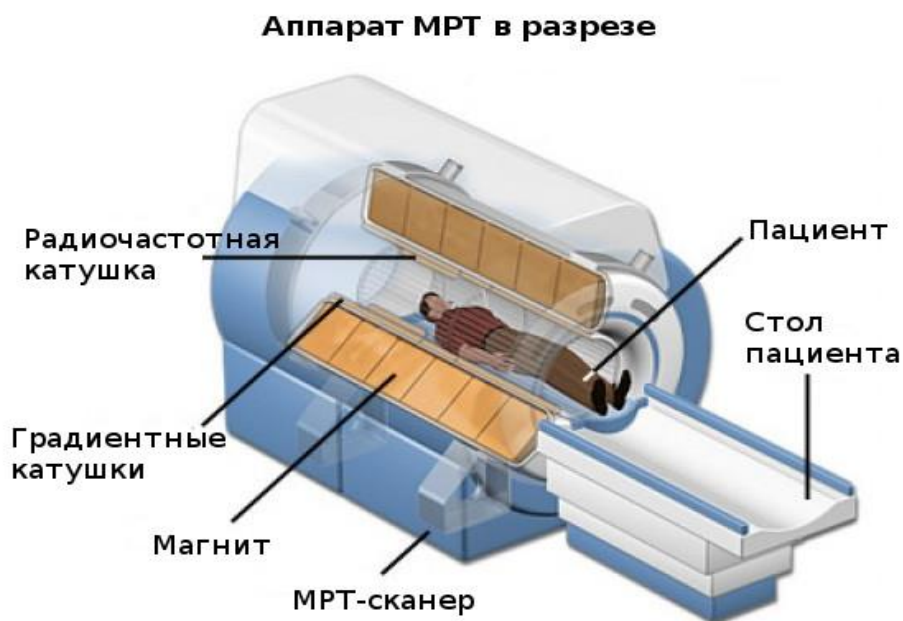


Рисунок 7 - Аппарат МРТ

Магнитоэнцефалография (МЭГ): технология, позволяющая измерять и визуализировать магнитные поля, возникающие вследствие электрической активности мозга (рисунок 8).

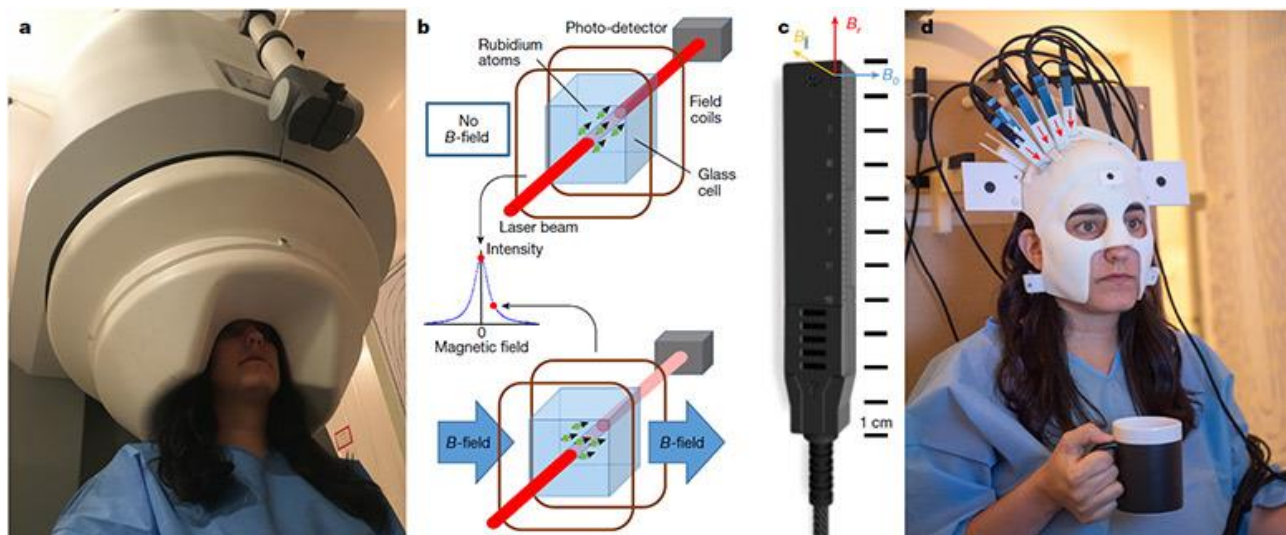


Рисунок 8 - Магнитоэнцефалограф /портативный магнитоэнцефалограф

Информация представлена как напряжённость магнитного поля. В виде датчиков выступают сверхпроводниковые квантовые интерферометры (СКВИД), являются достаточно большими, но есть и уменьшенные прототипы. Негативных последствий нет. В зависимости от аппаратуры, человек может, как неподвижно сидеть, так и свободно перемещаться, если датчики будут выполнены в виде шлема. Особенность данного метода: требуется наличие баков для жидкостей (Жидкий азот или гелий) которые будут обеспечивать сверхпроводимость. Также является дорогим с точки зрения эксплуатации.

Электромиография (ЭМГ): оценка электрической проводимости и возбудимости нервных структур и мышц. Информация представлена как напряженность электрического поля. В виде датчика выступают электроды (иглы в инвазивном способе), размещенные на коже. Негативных последствий нет. Стоимость оборудования меньше по сравнению с другими видами диагностики.

Электроэнцефалография: запись электрических импульсов и выявление изменений в электрической активности головного мозга. Информация - напряженность электрического поля на коре мозга. В виде датчика выступают электроды. Негативных последствий нет. Человек может самостоятельно установить электроды и производить исследование. Стои-

мость оборудования меньше по сравнению с другими видами диагностики.

В электроэнцефалографии используют стандартные системы размещения ЭЭГ электродов на голове: международную систему «10-20» (рисунок 9), систему Gibbs, систему Юнга, а также схемы с дополнительными электродами.

В модификации F.Gibbs, E.Gibbs (1950) положения электродов те же, что в системе «10-20», но количество их уменьшено до 12. Однако она не слишком удобна, большее распространение получила система Юнга. В системе Юнга электроды распределены равномерно по голове и все основные поверхности головного мозга, прилегающие к лобным, теменным, височным и затылочным костям черепа представлены в ЭЭГ. [18]

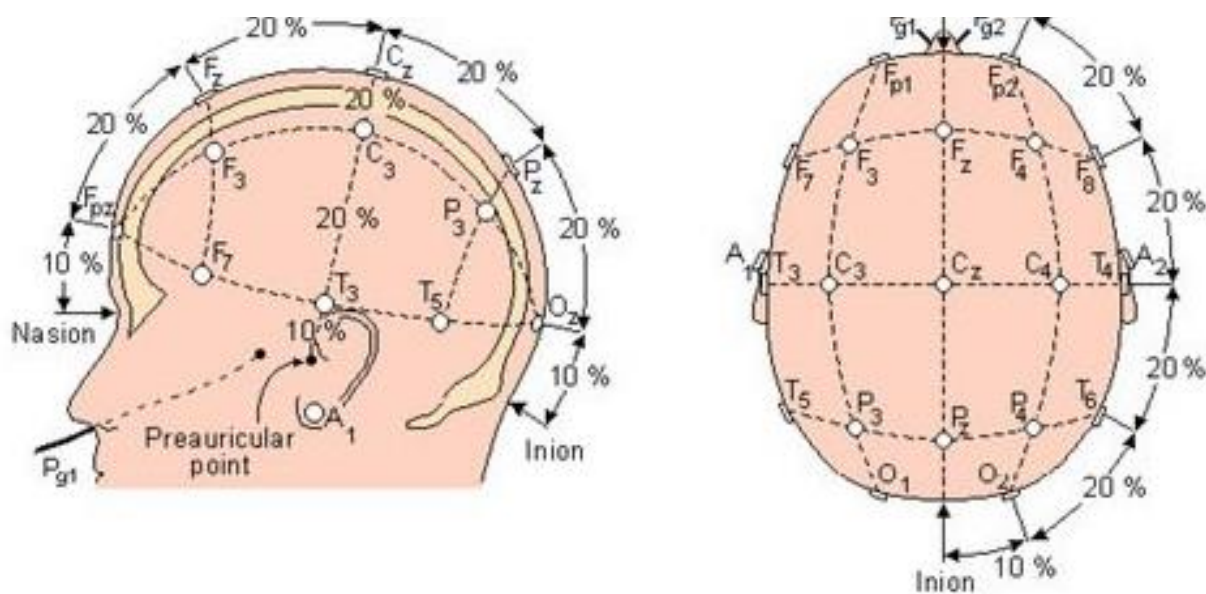


Рисунок 9 - Международная система «10-20»

ИМК, созданные на анализе корковых потенциалов по ЭЭГ относятся к ThoughtTranslationDevice (TTD, устройство передачи мысли) – устройства, которые помогают общаться с внешним миром, полностью парализованным пациентам. Если человек не в состоянии сгенерировать мышечный сигнал необходимой силы после инсульта или травмы спинного мозга, тогда TTD будет ему недоступна. Исследования показывают, что даже доля

здоровых пользователей, которые не могут добиться успешного контроля, находится в диапазоне 15–30%.

Главные преимущества перед остальными методами:

1) мобильность и сравнительная простота работы системы. На сегодняшний день электроэнцефалографы обладают широким функционалом возможностей для обработки радиосигналов;

2) современные аппараты ЭЭГ обладают множеством улучшений и модификаций, с возможностью подобрать нужную конфигурацию под конкретного пользователя, определенную задачу или метод и способ исследований;

3) доступность относительно других методов регистрации биоэлектрической активности головного мозга.

Но из-за индивидуальности подхода к каждому пользователю, необходима долгая калибровка для снятия биоэлектрической активности, чтобы учесть особенности головного мозга конкретного пользователя, перед каждым испытанием.

ЭЭГ – интерфейсы мозг–компьютер не лишены и других недостатков: шумов и артефактов (искусственные погрешности, допущенные человеком в процессе исследования и значительно ухудшающие качество данных), рис. 10.

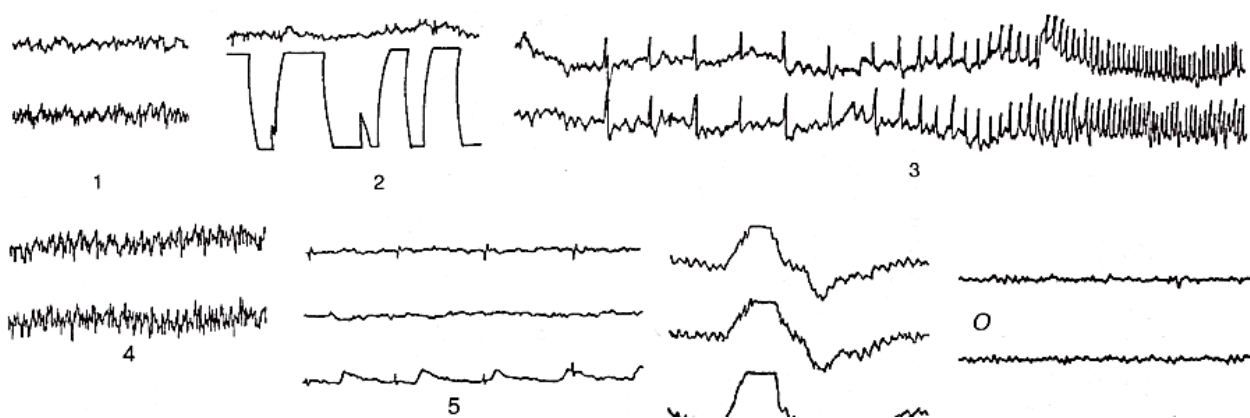


Рисунок 10 - Артефакты сигналов

Электрокортикограмма (ЭкоГ, ECoG): полуинвазивный способ электрофизиологического мониторинга биоэлектрической активности голов-

ного мозга, в основе которого лежит регистрация электрических потенциалов с помощью расположенных на верхней поверхности головного мозга электродов. [19] Информация - напряженность электрического поля – электрические потенциалы нейронов под костями черепа. Используются матрицы электродов, размещенных на поверхности одного полушария, электродные сетки обычно содержат множество токосъемных поверхностей. Так как используется полунинвазивный метод, есть вероятность осложнений, то есть требуется операционное вмешательство. Этот метод характеризуется высокой стоимостью, как качественного оборудования, так и операции.

Для ЭкоГ используются сетки из электродных матриц, расположенных субдурально, то есть на поверхностной оболочке коры. (рисунок 11). Такие полунинвазивные интерфейсы используют в крайних клинических случаях, когда другие методы не могут помочь.

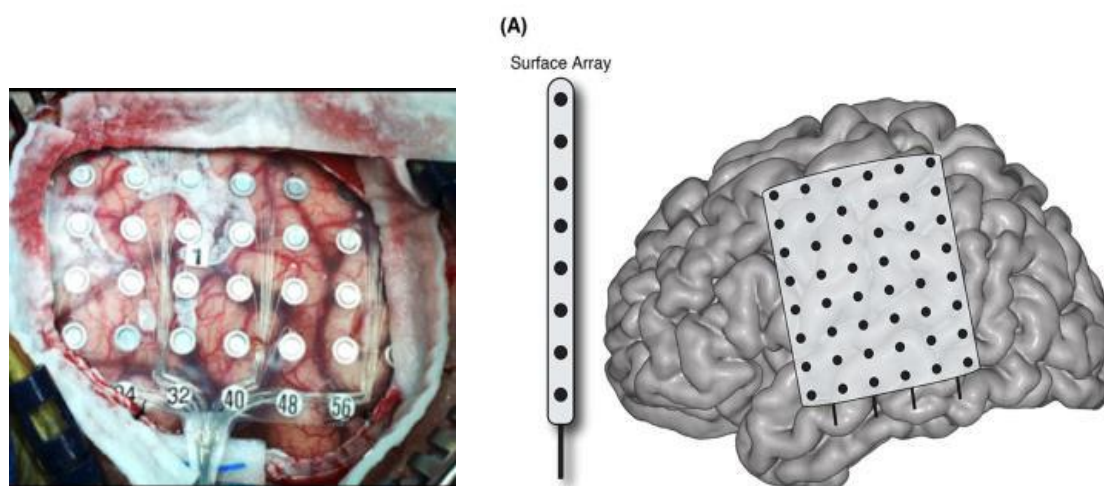


Рис 11 - Электродная решетка ЭкоГ

Спектрометрия ближнего инфракрасного диапазона: основана на измерении параметров вещества с использованием инфракрасного излучения 740-2500 нм. [10] Информация - при исследовании ткани может выявить особенности микроциркуляции рассматриваемой ткани. В методе используются неинвазивные оптодо-источники, оптодо-приемники. Негативных последствий нет. Энцефалографическая шапочка, оптодо-источники, оптодо-приемники (относительная сложность по сравнению с

ЭЭГ) (рисунок 12) стоимость набора ниже сложного томографического и МЭГ оборудования, но существенно выше ЭЭГ.



Рисунок 12 - Прибор БИКС

С БИКС используется схема (рисунок 13), так как только при чередовании оптодо-источников и оптодо-приёмников можно достичь наибольшего объема покрытия.

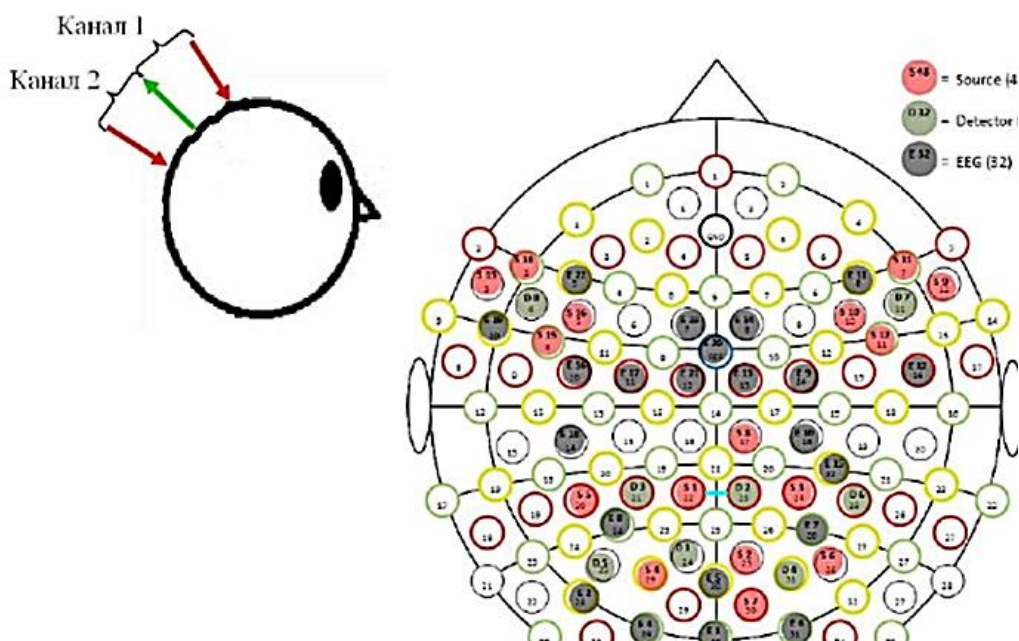


Рисунок 13 - Схема для БИКС (красные-источники, зеленые-приемники, серые – электроды, в расширенной схеме)

По отдельным характеристикам есть лидеры, ЭЭГ – высокая скорость реакции. Спектрометрия ближнего инфракрасного диапазона (БИКС), - физиологическое соответствие, точность. Вместе у них наилучшее соотношение цены – качества.

По изученным материалам можно сделать вывод, что более популярны и перспективны подходы по цене – качеству сигнала – безопасности использования БИКС, ЭЭГ и ЭМГ и их гибридные системы. На втором месте метод ЭкоГ.

Гибридная система в экспериментах показывает высокую точность классификации для всех испытуемых. Гибридный подход может показывать большую эффективность, нежели при использовании отдельных методов, это подтверждено экспериментально. Мировой рекорд по скорости получения и обработке сигнала был продемонстрирован на гибридной системе с использованием метода ERP-BCI и составил 1 с.

6. Электроды

Электрические сигналы снимают при помощи электродов. Сложность регистрации сигналов определяется малыми амплитудами и большим уровнем помех, поэтому электроды должны в точности соответствовать требованиям, так как от этого зависит достоверность информации.

Электроды по ситуациям применения:

- 1) кратковременное использование для диагностики;
- 2) для непрерывного наблюдения (в условиях палат - реанимаций);
- 3) для наблюдений быстрых изменений (в спортивной медицине);
- 4) для экстренного применения.

Наиболее распространены металлические электроды. Их изготавливают из золота, серебра, платины, палладия, нержавеющей стали, иридиевых сплавов и других сплавов и соединений, материал влияет на сопротивление и уровень шума. [24]

Различают несколько видов электродов, участвующих в съёме биопотенциалов:

1) измерительный электрод — электрод, устанавливаемый на точку поверхности тела, в которой измеряется биопотенциал;

2) нейтральный электрод — электрод, не участвующий в съёме биоэлектрического напряжения и подключаемый к нейтральной клемме измерительного прибора, показатель электрода не зависит от процессов организма. Например, при регистрации электроэнцефалограммы нулевой электрод может быть наложен на мочку уха.

В соответствии с используемым методом исследования различают электроды (электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ) и т. д.)

Вывод: В ИМК можно выделить такие характеристики: скорость реакции, время регистрации биопоказателей, время отклика, уникальность регистрируемого паттерна (шаблона) и его точность, а так же соответствие фактическим физиологическим показателям (классификатор состояний). ИМК – высокотехнологичное устройство, требующее комплексного развития всех его составляющих от электродов до цифровой обработки сигналов.

7. Классификация нейроинтерфейсов в современном мире

По типу взаимодействия нейроинтерфейсы разделяют на двунаправленные и однонаправленные. Первые способны и принимать, и посылать сигналы в один и тот же момент, а вторые либо посылают сигналы к мозгу, либо принимают их от него. В современном мире широко представлены и введены в эксплуатацию лишь однонаправленные нейроинтерфейсы, в то время как двунаправленные являются только концептом в разработке.

По способу получения сигнала от мозга (по степени инвазивности) выделяют несколько видов нейроинтерфейсов в современном мире: инвазивные, неинвазивные, полуинвазивные.

1. Инвазивный нейроинтерфейс – технология, которая требует прямого имплантирования в мозг электродов. В настоящее время экспери-

менты и тесты проводятся на людях, которым электроды установлены по медицинским соображениям, либо же на животных.

2. Не инвазивный нейроинтерфейс – технология, при которой анализ биоэлектрической активности происходит без прямого физического контакта.

3. Полуинвазивный нейроинтерфейс – технология, при которой электроды вживляются прямо под кости черепа, располагаясь на поверхности коры головного мозга. Полуинвазивным интерфейсом можно назвать ЭкоГ.

На сегодняшний день существует еще одна классификация нейроинтерфейсов: по способу связи электронного устройства с мозгом:

1. Активный нейроинтерфейс – это интерфейс, при котором команды пользователя выполняются и иницируются без дополнительных условий.

2. Реактивный нейроинтерфейс – это такой нейроинтерфейс, при котором команда, данная пользователем, иницируется и выполняется в ответ на воздействие системы;

3. Пассивный нейроинтерфейс – это нейроинтерфейс, при котором система выполняет функции и задачи пассивно, руководствуясь данными о состоянии пользователя. Основная задумка и суть пассивных нейроинтерфейсов состоит в оценке и анализе состояния пользователя. [24]

По состоянию на 2021 год, очевидно, что методы нейрофизиологии позволяют не только своевременно предупреждать разнообразные нарушения и сбои работы нервной системы, но и представляют большой интерес со стороны реабилитации пациентов.

Технология нейроинтерфейс также широко исследуется и используется, не только на рынке медицинских услуг, но и в таких перспективных отраслях как нейромаркетинг, нейроменеджмент и нейрогейминг. Большинство современных реабилитационных нейроинтерфейсов базируется на принципе на ЭЭГ.

8. Перспективы

Сегодня интерфейс мозг-компьютер используется для лечения людей с нейродегенеративными и нервно-мышечными заболеваниями. Также, нейроинтерфейсы широко применяют в биопротезировании, для создания «умных» протезов, и для коммуникации в виртуальной реальности. А полунвазивные нейроинтерфейсы в данный момент используют люди с тяжелыми заболеваниями для общения в повседневной жизни.

С каждым годом у ученых повышается интерес к исследованию интерфейса мозг компьютер. Повышенный интерес сопровождается перспективой развития интерфейса мозг – компьютер в научной области и практическом использовании.

Многие думают, что в скором времени нейроинтерфейсы можно будет использовать в плановом порядке для протезирования и восстановления сложных функций у людей с инвалидностью: нервно-мышечных расстройств, травм головного мозга, инсультов и с другими заболеваниями.

Вместе с тем перед учеными стоит ряд проблем.

Более важные три критические области:

- 1) оборудование для сбора сигналов;
- 2) проблема выбора индивидуального интерфейс мозг-компьютер;
- 3) эксплуатационная надежность системы и ее стабильность работы.

В последнее время были достигнуты большие успехи и приборы функционировали несколько лет, но пока не ясно, какие методы будут наиболее результативными. Немаловажно отметить и цену, так стоимость энцефалографа NeuroSky “MindWave” составляет 25000-40000 руб. Пока нейроинтерфейсы постепенно внедряются в клиническую практику, и лишь некоторые компании выводят данные приборы на общий рынок.

В целом можно выделить два основных вопроса, которые нужно решить для введения данных приборов в общее использование:

1. Какова их эффективность и надежность?
2. В каких целях и случаях использовать тот или иной прибор?

Для ответа на первый вопрос требуется длительное и масштабное тестирование. На второй, нужно прийти к консенсусу среди исследователей и ученых, и составить основные нормы классификации данных типов приборов.

Разработка интерфейса мозг – компьютер, как и любого другого прибора, требует четкого подтверждения их реальной ценности в различных сферах, к примеру, для людей с ограниченными возможностями, они должны быть практичны, эффективны, рентабельны и положительно влиять на качество жизни.

Пока что можно сделать вывод, что современные нейроинтерфейсы с учетом их ограниченных возможностей и потенциальных рисков использования, могут быть полезными в основном для людей с очень тяжелыми формами инвалидности.

Но численность таких пациентов невелика, поэтому интерфейс мозг компьютер являются невыгодным решением с точки зрения окупаемости: на сегодняшний день для массового внедрения капитала в данную технологию нет смысла. Инвазивные интерфейсы мозг – компьютер требуют значительные затраты на первоначальную имплантацию и на техническое обслуживание.

Успешность интерфейса мозг-компьютер будет зависеть от уменьшения сложности технической поддержки, увеличения срока службы, увеличения числа пользователей и надобности (в различных областях жизни, лечебной, развлекательной...).

В будущем, обширное количество успешных клинических и лабораторных испытаний и исследований может значительно увеличить количество пользователей. При любых обстоятельствах, если дальнейшая работа улучшит функциональность интерфейс мозг-компьютер и сделает их коммерчески выгодными, для их распространения потребуются жизнеспособные бизнес – модели, которые дадут как финансовый стимул для коммерческой компании, так и адекватную компенсацию клиническому и техническому персоналу, который будет поддерживать работу интерфейс «Мозг – компьютер». [29] Несмотря на увеличивающееся количество ис-

следований интерфейс мозг-компьютер, эксплуатационная надежность системы и ее стабильность на сегодняшний день остается ключевой проблемой ее использования.

Заключение

По мнению авторов, ИМК имеет огромные перспективы, как в медицине, так и в других отраслях. Разнообразие рассмотренных методов свидетельствует об огромном объеме работ, проделанном учеными и инженерами по исследованию данной технологии.

Исследование мозга это одна из самых сложных тем для человечества, но мы все ближе подходим к раскрытию его тайн, а значит и к лечению серьёзных неврологических заболеваний. В исследованиях нам помогает развивающаяся электронная аппаратура и новые алгоритмы обработки информации.

Пока что мы не настолько хорошо понимаем, как кодируются мысли в мозге, чтобы их считывать. Считывание и декодирование мыслей остается невозможной задачей с технологиями, которые существуют на данный момент. Но стимуляция мозга, создание качественных и дешевых протезов, к примеру, зрительных, вполне реальная задача в ближайшем будущем. Стимуляция – это главное направление, которое будет развиваться в настоящем времени и в ближайшем будущем.

В настоящее время технология ИМК считается развивающейся и используется по большей части в исследованиях и в тяжелых клинических ситуациях. Однако есть тенденция роста коммерческого и научного интереса к данной технологии, а значит и тенденция к росту качества интерфейса «Мозг – компьютер», к росту областей его применения.

Литература

1. Илон Маск: Презентация Neuralink (17.07.2019) [Электрон. ресурс] <https://www.youtube.com/watch?v=YKzCD2IEYUQ> (дата обращения 14.10.2021)
2. CMI Brain Research интерфейс-мозг-компьютер [Официальный сайт] <https://cmi.to/интерфейс-мозг-компьютер/> (дата обращения 12.11.2021)

3. Трофимов А.Г., Скругин В. И. Системы нейрокомпьютерного интерфейса. [Электрон. ресурс] http://novtex.ru/IT/it2011/It211_web.pdf С.2-10 (дата обращения 14.10.2021)
4. Научный центр неврологии [Офиц. сайт]. <https://www.neurology.ru/otdelenie-neyroreabilitacii-i-fizioterapii/issledovanie-tehnologii-interfeys-mozg-kompyuter-imk> (дата обращения 14.10.2021)
5. Хабр, Интерфейсы мозг-компьютер: обзор современных достижений. [Офиц. сайт]. <https://habr.com/ru/post/564644/> (дата обращения 14.10.2021)
6. Слияние человека и машины. Neuralink [Электрон. ресурс] <https://habr.com/ru/post/517058/> (дата обращения 14.10.2021).
7. Каплан А.Я., Кочетова А.Г., Шишкин С.Л и др.: Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии «Интерфейс мозг-компьютер» [Электрон. ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalno-teoreticheskie-osnovaniya-i-prakticheskie-realizatsii-tehnologii-interfeys-mozg-kompyuter> С.1-10 (дата обращения 14.10.2021)
8. НТБ CyberLeninka [Офиц.сайт] <https://cyberleninka.ru/search?q=интерфейс%20мозг-компьютер&page=1> (дата обращения 14.10.2021)
9. НТБ CyberLeninka [Офиц.сайт] <https://cyberleninka.ru/search?q=Медицинская%20техника%20мозг-компьютер&page=1> (дата обращения 14.10.2021)
10. Коршаков А.В. Системы интерфейсов мозг-компьютер на основе спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона. Математическая биология и биоинформатика. 2018. Т. 13. No 1. doi: 10.17537/2018.13.84 [Электрон. ресурс] https://www.researchgate.net/publication/327634062_Korsakov_AV_Systemy_interfejsov_mozgkomputer_na_osnove_spektroskopii_bliznego_infrakrasnogo_diapazona_Matematicheskaja_biologija_i_bioinformatika_2018_T_13_No_1_doi_101753720181384_httpwwwmatbioorgartic С.85-89, С.117-118 (дата обращения 14.10.2021)
11. Мокиенко О. А., Люкманов Р. Х., Черникова Л. А., и др.: Физиология человека, том 42 № 1, 2016: Интерфейс мозг-компьютер первый опыт клинического применения в России [Электрон. ресурс] <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjz57OEpzAhWsxIsKHUZCCVkJFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fistina.msu.ru%2Fdownload%2F22765572%2F1gFDkY%3AyvEzT21NdwpFFSqlX3EJewOqT58%2F&usq=AOvVaw3fqJQtn7YqysfZDO69dTEL> С.31-39 (дата обращения 14.10.2021)
12. Левицкая О.С., Лебедев М.А. Интерфейс мозг-компьютер: будущее в настоящем [Электрон. ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/interfeys-mozg-kompyuter-budushee-v-nastoyaschem/viewer> С.5-6, С.7-12 (дата обращения 14.10.2021)
13. NEIRY [Офиц. сайт] <https://neiry-bci.com/#rec199326229> (дата обращения 14.10.2021)
14. Сколково: Интерфейс мозг-компьютер или как научиться управлять силой мысли? [Офиц. сайт] https://old.sk.ru/net/1110034/b/news/archive/2013/04/11/interfeys-mozgkompyuter-ili-kak-nauchitsya-upravlyat-siloy-mysli_3f00.aspx (дата обращения 14.10.2021)
15. Центр биоэлектрических интерфейсов: Оборудование и методы [Офиц. сайт] <https://bioelectric.hse.ru/equipment/> (дата обращения 14.10.2021)
16. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Алексеев А.В. и др. Способ оптимизации работы нейрокомпьютерного интерфейса. [Электрон. ресурс] <https://edrid.ru/en/rid/218.016.6411.html> (дата обращения 1.11.2021)

17. Центр биоэлектрических интерфейсов: Оборудование и методы [Офиц. сайт] <https://bioelectric.hse.ru/neurointerfaces/> (дата обращения 1.11.2021)
18. CMI Brain Research “Система 10-20” [Офиц. сайт] <https://cmi.to/ээг/система-10-20/> (дата обращения 1.11.2021)
19. CMI Brain Research Электrokортикография [Офиц. сайт] <https://cmi.to/электrokортикография/> (дата обращения 1.11.2021)
20. Справочник MSD. Обзор функций долей головного мозга. (Overview of Cerebral Function)[Офиц. сайт] <https://www.msmanuals.com/ru-ru/профессиональный/неврологические-расстройства/функции-и-дисфункции-долей-головного-мозга/обзор-функций-долей-головного-мозга-overview-of-cerebral-function>(дата обращения 1.11.2021)
21. Краткий терминологический словарь клинической энцефалографии[Офиц. сайт] <https://mks.ru/library/books/eeg/kniga01/maneeg-pr2.html#:~:text=Конвексительная%20поверхность%20мозга%20-%20поверхность%20мозга,височным%20и%20затылочным%20костям%20черепа.>(дата обращения 1.11.2021)
22. Вестник Российского Государственного Медицинского Университета НАУЧНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ РНИМУ ИМ. Н. И. ПИРОГОВА [Электрон. ресурс] <http://scirate.1spbgmu.ru/SciRateSMUWeb/attachments/5178/SciProduct/24612/20196 ru.pdf> С. 32. (дата обращения 1.11.2021)
23. Gigabaza.ru Электроды для биомедицинских измерений. [Офиц. сайт] <https://gigabaza.ru/doc/33947-pall.html>(дата обращения 1.11.2021)
24. Краев Р.В, Белозерских В.В. -Б: АлтГУ,2019: Создание человек-машинного интерфейса управления виртуальным роботом посредством обработки электроэнцефалограммы [Электрон. ресурс] <http://elibrary.asu.ru/xmlui/bitstream/handle/asu/7516/vkr.pdf?sequence=1&isAllowed=y> С.7-8, С.18-20 (дата обращения 14.10.2021)
25. NODUS Мозг и его ритмы – базовые знания.[Офиц. сайт] <https://nodus.ua/tsentr/nauka-i-praktyka/neyroreabilitatsiya/mozg-i-ego-ritmy-bazovye-znaniya/>(дата обращения 1.11.2021)
26. Хабр. Нейроинтерфейсы сегодня [Офиц. сайт] <https://habr.com/ru/post/431574/> (дата обращения 1.11.2021)
27. О вселенной в двух словах/ С. Хокинг; пер. с англ. Бродцкой А.М.: под ред. Красильщикова А.М. – Москва: АСТ, 2019. – 224 с.
28. НТБ CyberLeninka[Офиц.сайт]<https://cyberleninka.ru/article/n/mozgovoe-krovoobraschenie-fiziologicheskie-aspekty-i-sovremennye-metody-issledovaniya> (дата обращения 1.11.2021)
29. Медуза. Интервью нейробиолога Михаила Лебедева. [Офиц. сайт] <https://meduza.io/feature/2019/09/10/ilon-mask-pokazal-implantat-dlya-svyazi-mozga-s-kompyuterom-naskolko-daleko-on-zashel> (дата обращения 1.11.2021)