

Профессор
Бекман Игорь Николаевич

МЕМБРАНЫ В МЕДИЦИНЕ

Курс лекций

Лекция 3. БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ В МЕДИЦИНЕ

В настоящее время бесспорной является возможность использования индифферентных газов (инертных газов, а также азота и водорода) в составе газовых смесей и сред при глубоководных водолазных работах. Эти же газы широко используются в практике создания искусственной среды обитания для замкнутых гермообъектов. Так, перспективным является создание пожаробезопасной среды в таких объектах, как космические корабли и станции.

Помимо этого проводятся работы по внедрению новых методов лечения и реабилитации больных газовыми смесями, содержащими инертные газы. Являясь химически инертными, они, тем не менее, обладают широким спектром биологического действия. благородные газы относятся к нетоксичным средствам, оказывающим на организм целый ряд биологических эффектов.

В терапии использование кислородно-гелиевых смесей эффективно при лечении ряда заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, реабилитации после переохлаждения и физических нагрузок. Гелий, обладающий чрезвычайно высокой проникающей способностью и теплопроводностью, обеспечивает увеличение объемной скорости движения газовой смеси, улучшает газообмен, нормализует газовый состав крови и кислотно-щелочное равновесие, увеличивает оксигенацию артериальной крови, уменьшает работу дыхательной мускулатуры и оптимизирует деятельность дыхательного центра.

Применение кислородно-аргоновых гипоксических смесей (с содержанием кислорода 10-15%) повышает резистентность организма человека и млекопитающих к гипоксической гипоксии и улучшает сон после психофизических нагрузок.

Криптон нашёл некоторое применение в водолазной практике, космической и экстремальной медицине для создания безопасной дыхательной газовой среды с заданными свойствами в гермозамкнутых объектах и для проведения анестезии под повышенным давлением. Анестетическая сила криптона слабее, чем ксенона, что даёт более широкий, чем у ксенона спектр применения для лечения и реабилитации при нормальном давлении, обеспечивая достаточную анестезию при повышенном давлении. При наркозе иногда применяется смесь криптона с закисью азота. ^{87}Kr ($T=1,27$ ч) используют в медицине как источник β -излучения. С помощью короткоживущего ($T=13$ сек) изотопа криптона - $^{81\text{M}}\text{Kr}$ - изучают функции легких. Пациент вдыхает небольшое количество газа, поступление которого в различные участки легких регистрируется с помощью гамма-камеры.

С помощью кислородно-ксеноновых смесей возможна терапия бессонницы, неврозов различной этиологии, реактивных и абстинентных состояний, снижения болевой чувствительности. Ксенон - идеальный анестетик и уже сейчас активно применяется для наркоза. Ксенон сильно поглощает рентгеновское излучение и помогает найти места поражения. При этом он совершенно безвреден. Поэтому ксеноном пользуются при рентгеноскопических обследованиях головного мозга. Радиоактивный изотоп ^{133}Xe , используют при исследовании функциональной деятельности легких и сердца.

Радиоактивный радон ^{222}Rn нашёл своё место в бальнеологии. Радонотерапия – это методы лечебного воздействия на организм, использующие радиоактивный элемент радон. Проводится с применением природных или искусственно создаваемых факторов, как на курортах, так и во внекурортных условиях. Круг заболеваний, которые излечивает радонотерапия, включает в себя заболевания периферической нервной системы, невриты, радикулиты, полиневрит, невралгии, остаточные явления после ранений и травм, подагру, пороки митрального и аортального клапанов, скрыто протекающие ревматические процессы, артриты и полиартриты, как ревматоидные, так и трофические, болезни позвоночника, миозиты, бурситы и т.д. Кроме специфического воздействия на внутренние органы, радон используют для поверхностных облучений α -частицами. Радонотерапия лечит чешуйчатый лишай, хронические экземы, дерматиты, склеродермию, многочисленные заболевания женской половой сферы, включая бесплодие на почве воспалительных заболеваний матки и труб. Особенно эффективны при лечении кожных заболеваний комбинация радона и растворов минеральных солей.

В данной лекции мы рассмотрим медицинское применение газовых смесей на основе тяжёлых инертных газов: ксенона и радона.

1. КСЕНОН В МЕДИЦИНЕ

Международный интерес к ксенону, как альтернативному газовому анестетику, резко возрос в последней декаде прошлого века. Совершенствование технологии производства инертных газов и получение их в достаточных объемах создали предпосылки для рутинного применения ксенона в медицинской практике в целях наркоза и с лечебной целью.

Ксенон сейчас считается ингаляционным анестетиком 21 века, поскольку он обладает хорошими анальгетическими, вегетостабилизирующими свойствами, седативным эффектом. Его применяют в терапии и реабилитации, а также при создании искусственной гипоксии для повышения сопротивляемости организма неблагоприятным внешним условиям. Препарат используется при проведении анестезии у больных с лекарственной аллергией, больных и ослабленных людей с отсутствием послеоперационных осложнений.

Ещё недавно идея получения из воздуха сильного анестетика казалось фантастичной. Однако, она была реализована и ксенон оказался самым безопасным и перспективным анестетиком XXI века.

Преимущества ксенона заключаются в том, что он химически инертен; имеет сильно выраженное анальгетическое, анестезирующее и миорелаксирующее свойства; совместим с любыми лекарственными средствами, применяемыми в анестезиологии; обеспечивает стабильность показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем; хорошо контролируем, позволяет очень быстро вывести пациента из наркоза. Ксенон является идеальным анестетиком и терапевтическим средством с широким спектром фармакологических свойств. Не используется для лечения стрессов различной этиологии, головных болей, расстройств сна, синдрома хронической усталости, депрессивных расстройств, реабилитации и восстановления организма после болезни. Также ксенон применяется для повышения работоспособности, в терапии наркомании, для восстановления организма после алкогольного опьянения. Обладая свойством нейропротекции, а также способностью положительно влиять на апоптоз клеток центральной нервной системы, ксенон имеет большое будущее в лечении заболеваний мозга.

Обычно в медицине используется не чистый ксенон, а его смесь с кислородом.

В таком виде ксенон:

- в анестезиологии применяется для проведения ингаляционного наркоза при различных оперативных вмешательствах, болезненных манипуляциях, а также для лечения болевых симптомов и других патологических состояний и наиболее показан пациентам с высокой степенью операционно-анестезиологического риска или ослабленным больным;
- в офтальмологии – для лечения различных ишемических состояний глаза;
- в кардиологии-обладает стабилизирующим действием на центральную гемодинамику, улучшает перфузию миокарда, обладает антиаритмическим действием, улучшает проницаемость через альвеоло-капиллярную мембрану и расслабляет гладкую мускулатуру. Хорошо зарекомендовал в комплексной терапии ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда, обструктивных заболеваний легких;
- в интенсивной терапии - способен купировать болевой синдром, снимать психо-эмоциональное возбуждение, энцефалопатию;
- в неврологии - обладая выраженным анксиолитическим, нейропротекторным и ноотропным свойством, нашел применение при лечении ишемических и дисциркуляторных поражений головного мозга;
- в психиатрии - это комплексное лечение психозов, депрессий и стрессов, пограничных состояний, реабилитация организма после них;
- в лечении наркотической и алкогольной зависимостей, токсикоманий ксенон показывает неоспоримый клинический эффект. Что особенно важно, так это то, что ксенон наиболее эффективно снимает психозы и абстиненции у больных алкоголизмом и наркоманией.

В силу своей биохимической инертности, ксенон не обладает острой и хронической токсичностью, тератогенностью эмбриотоксичностью, не является аллергеном. Ксенон медицинский практически не имеет противопоказаний, поэтому сферы его применения в современной медицине будут только расширяться. Ксенон обладает анальгетическим, гипнотическим, ноотропным, анксиолитическим, антистрессорным и антидепрессантным эффектами. Сферы применения: анестезиология, неврология, акушерство, наркология, стоматология, медицина катастроф.

Одним из важных и социально-значимых свойств ксенона является его экологическая безопасность в отличие от закиси азота и галогеносодержащих соединений нового поколения (фторотан, этран, изофлюран севофлюран и десфлюран). Согласно международному Киотскому Протоколу (1997) производство

указанных средств должно быть прекращено к 2030 году. В этом отношении самому безопасному анестетику XXI века ксенону открываются более благоприятные перспективы на службе человечеству.

1.1 Физиологические эффекты индифферентных газов

История начала применения ксенона в медицине началась с глубоководных погружений. Выяснилось, что практически любой компонент воздуха – азот, гелий, ксенон - способен вызвать состояние похожее на опьянение. Чем меньше молекулярная масса – тем большее нужно давление для того, чтобы проявился такой эффект. Гелий оказывает анестетическое действие под высоким давлением (свыше 100 атмосфер), аргон – под меньшим (16-18 атм), криптон – ещё меньшим (3,5 атм) и а ксенон способен оказывать анестетическое действие под атмосферным давлением. У него очень большая молекулярная масса - 131,3.

О наркотических свойствах ксенона стало известно практически с момента его открытия У. Рамзаем и М. Траверсом в 1898 году. В первой половине 20-го века профессор Н.В.Лазарев выдвинул теорию биологического действия химически индифферентных газов, согласно которой всякое химически индифферентное вещество, растворимое в липидах клеточной мембраны, является наркотиком, не позволяющим нервным клеткам генерировать импульсную активность при раздражении, или угнетающим синоптическую передачу. Более современная теория критического объёма утверждает, что наркоз происходит в результате растворения инертного газа в гидрофобной части мембраны, что вызывает её расширение и, по достижении 0,4%-го увеличения объёма, приводит к нарушению ионной проницаемости. Полагают что действие ксенона как наркотика связано с внутриклеточным гомеостазом ионов калия.

Клинические свойства ксенона продемонстрировали американцы С.Каллен и Е.Гросс, которые в 1951 применили ингаляцию смеси $\text{Xe}:\text{O}_2=50:50$ у здоровых людей, получив при этом выраженный наркотический эффект, и в том же году применили ксеноновый наркоз при хирургических операциях у больных.

Наркотические свойства ксенона известны с 1946 года, в качестве анестетика он применён в США в 1951 а в СССР – в 1962. Ксенон - лучший анестетик. Он не токсичен, не имеет противопоказаний, обладает более мощными анестезиологическими свойствами, чем имеющиеся средства (в первую очередь – закись азота), рекомендован пациентам с высокой степенью операционного риска, характеризуется быстрым выходом из наркоза.

Смесь ксенон-кислород обладает более мощным анестезирующим и анальгезирующим средством, чем смесь $\text{N}_2\text{O}-\text{O}_2$: минимальная альвеолярная концентрация Xe, необходимая для достижения наркоза, составляет 71%. Рабочая концентрация 70% Xe - 30% O_2 . 30% и 50% Xe в составе смеси с кислородом не вызывают наркоз, но обладают анальгезирующим действием. Xe в субнаркотических концентрациях снижает уровень тревожности у людей, оказывает анитрессорный эффект в отношении систем жизнеобеспечения человека. После ксеновой анестезии нет никаких побочных эффектов, свойственных другим средствам, используемым для ингаляционного наркоза. Ксенон применяется при болезни Паркинсона, шизофрении, депрессивных расстройствах и т.п. Возможно, ксенон станет самым идеальным депрессантом.

1.2 Свойства ксенона

Ксенон – благородный газ – сочетает в себе следующие свойства: низкую токсичность с возможностью растворяться в биологических жидкостях и клеточных мембранах, осуществлять воздействие на обменные и клеточные процессы посредством физических и биофизических механизмов. Физико-химические свойства Xe обеспечивают быстрый ввод пациента в наркоз и быстроту вывода из наркоза без каких-либо последствий для пациента. Ксенон – инертный газ, не подвергающийся биотрансформации, не участвующий в метаболизме, слабо растворим в жидких средах организма, быстро элюминируется преимущественно через лёгкие.

Xe – газ, без запаха и цвета, слабо растворим в воде, коэффициент растворимости кровь/газ – 0,14 (у закиси азота – 0,47), а плотность при 0°C – 5,851 г/л (Xe в 4,5 раза тяжелее воздуха и в 3,2 раза тяжелее, чем у закиси азота). Слабо растворим в воде (при 37°C, 85 см³/л), хорошо растворим в жирах (растворимость Xe в оливковом масле при 0°C 1700 см³/л), коэффициент распределения в системе масло-вода равен 20, а в системе кровь-газ 0,115, что значительно ниже, чем у других используемых в клинике анестетиков. Например, эти коэффициенты для N_2O , севофлюрана и десфлюрана составляет 0,47, 0,65 и 0,42 соответственно.

Может накапливаться в слабо проветриваемых помещениях, что представляет некоторую опасность для обслуживающего персонала. Предельно допустимая концентрация (ПДК) ксенона, согласно ГОСТ 12.1.005-76, составляет 300 мг/м³.

Ксенон обладает эффектами: анальгетическим, спазмолитическим, кардиотоническим, нейропротекторным, антистрессовым, антигипоксическим, иммуностимулирующим, противовоспалительным, анаболическим, нейрогуморальным, вазоплегическим и др.

Ксенон выступает как альтернатива закиси азота при комбинированном наркозе. Он не подвергается в организме распаду и метаболизму. Xe легко проникает через лёгкие, не изменяя показателей газообмена, хорошо растворяется в жирах, не подвергается биотрансформации и после прекращения подачи газа в течение 5 мин выделяется из организма, не раздражая дыхательные пути и не вызывая кашля. В отличие от всех препаратов, применяемых в медицине, Xe абсолютно не токсичен, индифферентен в организме, лишен побочных эффектов, не обладает канцерогенными и аллергическими свойствами, не вызывает кардиодепрессивного действия, не оказывает влияния на морфологический состав и систему свертывания крови, иммунитет, экологически чист и безвреден, не подвергается в организме распаду и метаболизму, не оказывает отрицательного влияния на систему кровообращения, не обладает мутагенным эффектом, не подавляет иммунитет и не оказывает влияния на репродуктивную функцию организма, снимает болевой шок и психогенные реактивные состояния.

Лёгкое введение в наркоз (1,5 мин, т.е. быстрее, чем при использовании других анестетиков), хорошая его управляемость, быстрое пробуждение (3-5 мин), минимально выраженная посленаркозная депрессия, хорошее сочетание с другими анестезиологическими препаратами обеспечили перспективы использования ксенона для наркоза. В отличие от других ингаляционных анестетиков, Xe не повышает церебральный кровоток и внутричерепное давление, что не создаёт ограничений при использовании его в нейроанестезиологической практике. Препарат Xe-O₂ является мощнейшим нейропротектором.

1.3 Газовые смеси для наркоза

Наркоз (nārkosis - онемение, оцепенение) - общее обезболивание, своеобразное состояние искусственного сна, с полной или частичной утратой сознания и потерей болевой чувствительности.

Главная цель наркоза - замедление реакций организма на оперативное вмешательство, прежде всего ощущения боли. При этом медикаментозный сон, с которым чаще всего и ассоциируется понятие «наркоз», является лишь одним компонентом наркоза. При проведении наркоза важно подавление или значительное снижение выраженности вегетативных (автоматических) реакций организма на хирургическую травму, которые проявляются увеличением частоты сердечных сокращений, повышением артериального давления и другими явлениями, которые могут иметь место даже при выключенном сознании. Это подавление вегетативных реакций называется обезболиванием или анальгезией. Третий компонент наркоза - расслабление мышц, необходимое для обеспечения нормальных условий для работы хирургов.

Виды наркоза: ингаляционный; внутривенный; комбинированный наркоз (обезболивание достигается последовательным применением различных наркотических средств и способов их введения). В зависимости от того, что происходит во время наркоза с дыханием больного, различают наркоз со спонтанным (самостоятельным) дыханием и с искусственной вентиляцией легких). Второй вариант обычно требует интубации трахеи (в дыхательные пути вводится специальная трубка после того как больной засыпает) или применения других методов, обеспечивающих возможность вдуть воздух, кислород или газовые смеси в легкие больного при помощи аппарата искусственной вентиляции лёгких или специального мешка.

Для наркоза применяют такие вещества, как хлороформ, диэтиловый эфир, закись азота, фторотан, изофлюран, севофлюран, кетамин, пропафол (вещество с наилучшими параметрами – с ним можно проводить до 90% операций) и ксенон.

Наиболее старой газовой смесью (но до сих пор широко используемой) является смесь N₂O с O₂. Малые концентрации закиси азота вызывают чувство опьянения (отсюда название - «веселящий газ») и лёгкую сонливость. При вдыхании чистого газа быстро развиваются состояние наркотического опьянения, а затем асфиксия. В смеси с кислородом при правильном дозировании вызывает наркоз без предварительного возбуждения и побочных явлений. Закись азота обладает слабой наркотической активностью, в связи с чем её необходимо применять в больших концентрациях. В большинстве случаев применяют комбинированный наркоз, при котором закись азота сочетают с другими, более мощными, средствами для наркоза. N₂O не вызывает раздражения дыхательных путей. Будучи, в процессе вдыхания, растворенной в плазме крови, практически не изменяется и не метаболизируется, с гемоглобином не связывается. После прекращения вдыхания выделяется (в течение 10—15 мин) через дыхательные пути в неизменном виде.

Наркоз с применением закиси азота используется в хирургической практике, оперативной гинекологии, хирургической стоматологии, а также для обезболивания родов. «Лечебный анальгетический наркоз» с использованием смеси закиси азота и кислорода иногда применяют в послеоперационном периоде для профилактики травматического шока, а также для купирования болевых приступов при острой

коронарной недостаточности, инфаркте миокарда, панкреатите и других состояниях, сопровождающихся болями, не купирующимися обычными средствами.

Применяют закись азота в смеси с кислородом при помощи специальных аппаратов для газового наркоза. Обычно начинают со смеси, содержащей 70-80 % закиси азота и 30-20 % кислорода, затем количество кислорода увеличивают до 40-50 %. Если не удается получить необходимую глубину наркоза, при концентрации закиси азота 70-75 %, добавляют более мощные наркотические средства: фторан, диэтиловый эфир, барбитураты. Для более полного расслабления мускулатуры применяют миорелаксанты, при этом не только усиливается расслабление мышц, но также улучшается течение наркоза. После прекращения подачи закиси азота следует во избежание гипоксии продолжать давать кислород в течение 4-5 мин. Для уменьшения эмоционального возбуждения, предупреждения тошноты и рвоты и потенцирования действия закиси азота возможна премидикация внутримышечным введением 0,5%-го раствора диазепам или дроперидола. Лечебный наркоз закисью азота (при стенокардии и инфаркте миокарда) противопоказан при тяжёлых заболеваниях нервной системы, хроническом алкоголизме, состоянии алкогольного опьянения (возможны возбуждение, галлюцинации).

Все анестетики прошлого токсичны и потенциально опасны для пациента и окружающего персонала. Анестезия ксеноном - новое направление в современной анестезиологии, поскольку оно предопределено применением одного из ярких представителей инертных газов в медицине. Как инертный газ, ксенон индифферентен в жидких средах организма и его применение в остром и хроническом опыте не связано с проблемой токсичности в отличие от большинства существующих анестетиков. И в этом его великое преимущество. В этом заключено качественно новое явление, которого не было раньше.

1.4 Ксенон в анестезии и наркозе

Ксенон относится к газообразным средствам для ингаляционного наркоза. В соотношении с кислородом (60:40,70:30,80:20) он оказывает сильное обезболивающее действие. Через 5-6 вдохов наркотической концентрации ксенона возникает чувство онемения и тяжести в ногах, постепенно поднимающиеся снизу вверх, захватывающие кожу живота, груди, шеи, головы. На 2-3 минуте появляется стадия эйфории и психомоторной активности, которая быстро сменяется стадией полной анальгезии (обезболивания) и частичной амнезии, затем выключается сознание и наступает стадия анестезии, соответствующая первой хирургической стадии эфирного наркоза. В этой стадии возможно выполнение хирургических операций без применения наркотических анальгетиков. Анальгезия наступает при вдыхании 30-40% смеси. Сознание утрачивается при вдыхании 65-70% смеси с O₂. Выход из наркоза быстрый. Через 2-3 минуты после отключения газа к пациенту возвращается сознание в полном объеме и приятными субъективными ощущениями. Ксенон в 1,5-2 раза сильнее закиси азота. После отключения ксенона, он через 4-5 мин выделяется из организма через легкие в объеме 95%. Остаточная концентрация его быстро снижается, а затем Хе постепенно вымывается из жидких сред организма, сохраняя при этом, более длительную послеоперационную анальгезию (важное преимущество Хе перед N₂O).

Побочных реакций от ксеноновой анестезии не отмечено. Ксенон не оказывает существенных изменений состава крови по сравнению с закисью азота. Он умеренно повышает мозговой кровоток, улучшает кровоток в печени, что обеспечивает ему хорошие перспективы при критических состояниях в хирургии, травматологии, нейрохирургии. Ксенон в максимально допустимой концентрации в клинике и эксперименте не оказывает влияния на углеводный, жировой и белковый метаболизм, ферментный состав крови. Он не обладает мутагенным эффектом, не имеет эмбриотоксического действия, лишен аллергенности и канцерогенности и обладает умеренным иммуностимулирующим действием.

Ксенон экологически чист и безопасен при условии применения низкопоточной анестезии и специального адсорбера для улавливания отработанного ксенона. В практическом плане ксенон должен стать анестетиком выбора, «золотым резервом» при операциях у пациентов с высоким анестезиологическим риском, при которых использование других альтернативных анестетиков связано с опасностью.

Традиционные анестетики вызывают определенные изменения в организме. Например, закись азота подавляет иммунитет, может вызвать аллергическую реакцию, мутагенный эффект. Пропафол, при длительном применении способен накапливаться в организме, особенно у больных с некоторыми патологиями – сердечно-сосудистыми, дыхательными и пр. Ксенон по сравнению с пропафолом лучше обеспечивает стабильность гемодинамики, что важно для пациентов с отягощениями. Пропафол и практически все другие, в том числе и ингаляционные анестетики, имеют свойство снижать артериальное давление и сердечный выброс, то есть ухудшать работу сердца. А для пациентов пожилого возраста, с сердечно-сосудистыми, почечными, церебро-васкулярными заболеваниями это опасно – они зависят от поддержания стабильного артериального давления и сердечного выброса. Ксенон – единственный из

существующих безопасных анестетиков поддерживает стабильное артериальное давление и сердечный выброс. Это автоматически делает ксенон препаратом выбора для всех больных с сердечно-сосудистой, церебро-васкулярной патологией, для всех больных, которые зависят от своего определенного уровня артериального давления. При снижении давления у них нарушается питание мозга и питание сердца, что представляет серьезную опасность. Есть только один инъекционный анестетик, который также не оказывает угнетающего воздействия на артериальное давление и сердечный выброс – это кетамин. Однако в последнее время он используется все реже, т.к. обладает некоторыми выраженными побочными эффектами: послеоперационные психозы, нарушения памяти, внимания и т.д. Более того, при повторных введениях кетамин способен обрушить давление и нарушить гемодинамику. Ксенон и ксеноновая анестезия совершенно не имеет зависимости от кратности и длительности использования ксенона. И отличается, таким образом, от всех известных.

Ксенон в качестве наркозного средства почти не дает побочных эффектов (но только у взрослых), сокращает период нахождения больных в реанимации после тяжелых операций, в том числе операций на сердце. Кроме того, ксенон не вредит здоровью медперсонала так сильно, как другие газы, используемые для наркоза. В настоящее время анестезиологи почти отказались от взрывоопасных и токсичных веществ, таких как эфир и циклопропан. Вместо них используются галогенизированные углеводороды, которые тем не менее оказывают негативное влияние на воздух в операционной, а, попадая в атмосферу, разрушают озоновый слой. (Известно, что промышленное производство закиси азота и других азотистых соединений составляет 10% всех промышленных загрязнений в мире. В Европе ежегодно расходуется закиси азота более 20 млрд. литров, мировое производство галогеносодержащих анестетиков достигает 10000 тонн.) Накопилось много сведений и о токсичности закиси азота, ее тератогенности, канцерогенности и опасности для пациентов и окружающего персонала при длительной анестезии. Согласно международным протоколам производство такие анестетиков как галотан, пентран, энфлюран, изофлюран, содержащие радикалы углерода, хлора и фтора должно быть приостановлено к 2030).

Анестезия ксеноном – анестезия инертным газом, не вступающим в химические реакции с нейроном, но временно и обратимо изменяющим его функцию в передаче стимулов. Анестезия ксеноном – идеологически иная анестезия, чем традиционно используемая при наркозе. В связи с дефицитом и высокой стоимостью ксенона она должна быть минимально-поточной, поскольку средне-поточная анестезия ксеноном экономически нерентабельна. В этой связи ксеноновая анестезия основана на новой современной идеологии – анестезии в условиях закрытого контура.

Ксеноновая анестезия выявила много других привлекательных свойств ксенона, кроме свойств анестетика – выключать сознание и обеспечивать полную аналгезию. Медицинский ксенон обеспечивает удивительно стабильную гемодинамику, повышение органного кровотока, улучшение микроциркуляции, повышение ударного объема сердца. Анестезия ксеноном легко управляема, комфортна и безопасна для пациентов. Эта анестезия имеет перспективы в кардиоанестезии и при операциях в общей хирургии у пациентов с компометирующим миокардом, иммунодефицитом, в детской и акушерской анестезиологии.

Ксенон – анестетик для больных с тяжёлыми сопутствующими сердечно-сосудистыми заболеваниями и заболеваниями метаболического характера (печени, поджелудочной железы и др.). Применение ксеноново-кислородной анестезии в сочетании с региональной служит надёжным методом защиты организма от хирургической травмы. Хе - препарат выбора при проведении анестезии у больных с лекарственной аллергией, поскольку он обладает хорошими аналгетическими, вегетостабилизирующими свойствами и седативным эффектом. Ксеноновая анестезия применяется для больных с почечной и печеночной недостаточностью, у которых происходит накопление метаболизирующихся препаратов. Активно используется ксеноновая анестезию у больных с высоким риском гипоксии и ишемии мозга, т.к. ксенон способен защитить пациента от недостаточности кровообращения мозга. Он понижает чувствительность тканей к ишемии и гипоксии. Ткани выживают при ксеноновой анестезии.

Особенность ксеноновой анестезии – быстрый выход из наркоза - особенно ценна в нейрохирургии, где требуется быстрая оценка неврологического статуса больного. После нейрохирургических операций высок риск парезов, потери чувствительности и пр. Поэтому хирург должен очень быстро оценить ситуацию и начать экстренные действия – повторную операцию или интенсивную терапию. Существует понятие «терапевтического окна», когда предпринятые меры являются эффективными. Как, например, для инсульта. Чем быстрее начата интенсивная терапия или же проведена повторная операция, тем больше вероятность с этой проблемой справиться. Вот в чем причина большого интереса к ксеноновой анестезии. От того, как быстро больной проснется и сможет ясно мыслить зависит прогноз не только операции, но и всего лечения в целом.

После пропафола пробуждение наступает достаточно быстро, однако после ксеноновой анестезии – еще быстрее, причём после ксеноновой анестезии больные просыпаются в максимально ясном сознании. В нейрохирургии крайне важно, чтобы больной сразу после пробуждения обладал ясностью и четкостью сознания. Это дает нам именно ксенон. Если пациент сонный, вялый – возникает опасность неправильно оценить его состояние, пропустить что-то важное. Более того, пациенты после ксеноновой анестезии способны сами перейти на каталку и на кровать сразу после операции.

С появлением ксенона расширились показания к оперативным вмешательствам. Прежде, до появления ксенона, существовала большая группа больных, которым отказывали в операции по причине их состояния, несопоставимого с наркозом. Таких больных долго готовили к операции, сама операция превращалась в настоящее испытание и после нее больные еще длительное время приходили в себя в реанимационном отделении. Благодаря ксеноновой анестезии на операции берут гораздо больше больных с тяжелой соматической патологией и исходы у них гораздо лучше. Кстати, и затраты на их подготовку к операции и содержание в реанимационном отделении меньше, они вообще меньше время находятся в стационаре.

Ксенон – анестетик выбора для хирургии одного дня, в частности – для стоматологии. Любые малоинвазивные вмешательства, небольшие операции, после которых пациента отпускают домой. Пациент быстро приходит в себя, у него нет никаких побочных эффектов после анестезии, нет заторможенности, неадекватности.

Минимальная альвеолярная концентрация Хе 63%, что значительно меньше, чем у закиси азота (104%), указывает на большую анестетическую активность Хе. Свойства, приближающие Хе к идеальному ингаляционному анестетику, это: высокая молекулярная стабильность, отсутствие метаболизма в организме и органно-специфических токсических эффектов, невоспламеняемость газовых смесей, низкий коэффициент растворимости кровь-газ, высокая анестетическая активность, отсутствие побочных эффектов при хроническом воздействии в низких концентрациях, нет запаха и не раздражает дыхательные пути, минимальные кардиореспираторные эффекты, свойства как гипнотика, так и анальгетика, отсутствие активации центральной нервной системы.

Вследствие биохимической инертности Хе не обладает острой и хронической токсичностью, тератогенностью и эмбриотоксичностью, не является аллергеном, не нарушает целостность структур мозга. Ксенон совершенно безопасен, он легко переносится животными и человеком, не влияет на репродуктивную функцию, не имеет канцерогенных свойств, оказывает, в отличие от большинства традиционных анестетиков, иммуностимулирующее действие.

Ксенон может быть применен в качестве средства анестезии при различных хирургических операциях, болезненных манипуляциях, снятия болевого приступа и лечения болевых синдромов. Ксенон может применяться в качестве анестетика в тех же ситуациях, что и закись азота: в общей хирургии, урологии, травматологии, ортопедии, неотложной хирургии, особенно у больных с сопутствующими заболеваниями сердечно-сосудистой системой, находящихся в группе высокого риска, в нейрохирургии центральной и периферической нервной системы в особенности при использовании микрохирургической техники когда необходим словесный контакт с пациентом для дифференциации чувствительных и двигательных пучков, при операциях на нервных стволах, в детской хирургии, в акушерстве и оперативной гинекологии, при болезненных манипуляциях, перевязках, биопсиях, обработке ожоговой поверхности, с лечебной целью при снятии болевого приступа, а также при снятии эмоционального стресса и других функциональных неврологических расстройств.

Применение ксенона сдерживает его дефицит и высокая стоимость, но главное препятствие – отсутствие нормативно-правовой базы для его широкого использования. Этот вопрос не решен пока во всех странах, за исключением России, где впервые в мире выполнен весь комплекс доклинических и клинических испытаний ксенона в соответствии с требованиями Фармкомитета и приказом министра здравоохранения РФ от 8.10.1999 г № 363 инертный газ ксенон (Хе) разрешен к медицинскому применению в качестве средства для наркоза (впрочем, только для наркоза!).

Таким образом, Россия стала первой страной мира, в которой успешно заложена нормативно-правовая основа для ксеноновой анестезии и созданы реальные условия для широкого клинического применения этого великолепного анестетика. Увеличено годовое производство ксенона в стране и созданы запасы этого газа в достаточных объемах. Успешно налаживается производство наркозной и газоаналитической аппаратуры по ксеноновой анестезии, составлены и утвержден учебный план тематического усовершенствования по технологии ксенон-сберегающей анестезии на базе кафедры анестезиологии и реаниматологии РМАПО. Издана первая в мире монография «Ксенон в анестезиологии». М.Пульс. 2000. и Методически рекомендации «Метод ксеноновой терапии», Екатеринбург, 2007. Предприятие ООО Акела-Н получило Регистрационное удостоверение и Лицензию на производство и реализацию медицинского ксенона, утверждена Инструкция по

применению ксенона и защищена Фармакопейная статья предприятия. В 1993-2007 в России под ксеноновой анестезией успешно проведено более 2500 операций в различных областях хирургии, включая и кардиохирургию.

Существуют и негативные стороны ксеноновой анестезии

1. Высокая стоимость по сравнению с закисью азота. Использование масочного или эндотрахеального варианта ксеноновой анестезии с обычным газотоком значительно упрощает способ анестезии, но при расходах Хе более 2 л/мин приводит к резкому удорожанию анестезии (600\$ при расходе 120 л/час).
2. Применение ксенона, как и закиси азота, может быть ограничено при операциях на сердце, легких, трахее и бронхах, связанных с пневмотораксом, при которых возникает необходимость пользоваться гипероксическими смесями. Нецелесообразно также применять ксенон в условиях негерметичного дыхательного контура.
3. Ксенон обладает высокой диффузионной способностью и по закону разницы парциальных давлений может заполнять замкнутые полости с нежелательным увеличением их объема (полость кишечника, брюшная полость, воздушные кисты, и пр.)
4. В связи с быстрой элиминацией ксенона из организма по окончании наркоза, он быстро заполняет альвеолярное пространство и создает феномен "диффузионной" гипоксии, аналогичной гипоксии, развивающейся после наркоза закисью азота. Для предупреждения этого явления необходимо в течение 4-5 мин после прекращения подачи Хе применять вспомогательную вентиляцию легких или стимулировать волевые усилия пациента.
5. Ксеноновую анестезию нецелесообразно применять при использовании полуоткрытого или полузакрытого контуров без применения блоков улавливания. Накопление выдыхаемого ксенона в воздухе не должно превышать ПДК= 0,005% поскольку может вызвать вялость, сонливость, дискоординацию у медицинского персонала операционного блока.

1.5 Ксенон в терапии

В России ксенон разрешён для использования в анестезии, но только в анестезии – нет разрешения для его применения для каких-либо иных медицинских целей (впрочем, так обстоят дела и во всём остальном мире). Тем не менее, в специальных клиниках и лабораториях были продемонстрировавшие хорошие перспективы применения ксенона для терапии.

Ксеноновая терапия может применяться для лечения боли и болевых синдромов, терапии стресса, лечения депрессий, терапии расстройств сна, лечения зависимостей (наркотической, алкогольной), реабилитации и восстановление организма после болезни, реабилитации и восстановления после изнурительных умственных и физических нагрузок, для повышения работоспособности. Ксенон обладает выраженным ноотропным (улучшение умственной деятельности), анксиолитическим (противотревожным), антигипоксическим, антидепрессивным и антиоксидантным действиями, его используют при лечении синдрома хронической усталости, стрессов и депрессий, неврозов, легких когнитивных (восприятие) расстройств; в составе комплексной терапии у пациентов с выраженной сердечно-сосудистой патологией (ишемическая и гипертоническая болезни, постинфарктное состояние и т.д.), с неврологической патологией (расстройствами церебрального кровообращения атеросклеротического или ишемического характера); в интенсивной терапии; в комплексной терапии различных вариантов синдрома отмены и постабстинентных состояний у наркологических больных; в восстановительной медицине для реабилитации после перенесенных оперативных вмешательств, травматических повреждений, острых и хронических заболеваний. Ингаляционная терапия ксеноном вызывает благоприятные изменения в системе гуморальной регуляции (координации процессов жизнедеятельности в организме, осуществляемых через жидкие среды организма с помощью биологически активных веществ), оказывает стресс-протективное, кардиопротективное и нейропротективное (активизирует метаболизм нервной ткани, повышает устойчивость к гипоксии) действие, улучшает метаболизм и психо-эмоциональное состояние человека.

Ксенон благотворно влияет на здоровье пациента. Так, при лечении инсультов с применением ксенонового ингаляционного наркоза, у человека быстрее восстанавливается речь и двигательные функции, что позволяет на 2–3 недели сократить срок пребывания больного в лечебно-профилактических учреждениях (это происходит оттого, что мозговой кровоток увеличивается более чем на 20%). Ксеноновая терапия эффективно воздействует на все самые страшные болезни 21 века. Так, с ее помощью можно без побочных осложнений воздействовать на иммунную систему человека, заставляя использовать его внутренние резервы для самовосстановления. Например, при лечении СПИДа, наркотической или алкогольной зависимости. Ксеноновая терапия не исключает, а наоборот - включается в другие схемы терапии, делая их более эффективными. Хе помогает при лечении стрессов и депрессивных состояний. Ксенон необходим в лечении

и восстановлении людей с психическими расстройствами нервной системы, при подготовке спортсменов и бойцов спецподразделений, связанных с выполнением задач, требующих большой выносливости и концентрации сил. С помощью ксенона удается снимать предстартовую лихорадку, обеспечивать глубокий и спокойный сон перед соревнованиями, эффективно снимать повышенное кровяное давление. Ксенон рекомендован как средство борьбы с террористами в герметично закрытых помещениях (самолетах, кинотеатрах, каютах и спортивных комплексах). Использование ксенона при кардиохирургических операциях на искусственном кровообращении сокращает срок постоперационного пребывания больного в реанимации с десяти до двух суток с полным избавлением человека от психоневрозных осложнений. После воздействия химиотерапии и радиотерапии ксенон используется как терапевтический лекарственный препарат, восстанавливающий деятельность жизненно важных органов.

Максимальный эффект терапии наступает через 3-5 минут после ингаляции и продолжается 2-4 часа. Эффект последействия может сохраняться от 48 до 80 часов. Лечебное действие ингаляций проводимых курсом 3 - 14 процедур суммируется. Терапия осуществляется путем ингаляции кислородно-ксеноновой смеси (в пропорции 50%/50%) заболеваний: острый и хронический стресс, бессонница, депрессивные состояния, неврозы, физические переутомления, атеросклероз с поражением периферических сосудов и нарушением микроциркуляции, острый вертебро- и дискогенный болевой синдром, головные боли различной этиологии, синдром тазовых болей, болевая форма хронического панкреатита. Противопоказания: острые психические заболевания, острая наркотическая и алкогольная интоксикация, брадикардия

Ксенон применялся в терапии экстремальных состояний у больных наркологического профиля, больных, зависимых от психоактивных веществ, для снятия наркотического абстинентного синдрома, при лечении больных с алкогольной зависимостью (снятие синдрома похмелья), и др. Повышение органного кровотока ксенона открывает благоприятные перспективы применения его в неврологической практике, атеросклерозе мозговых сосудов, ишемической энцефалопатии, эмоциональном дистрессе, а также в качестве анальгетика миокарда, панкреонекроза, почечной и печёночной колики.

Терапия ксеноном хорошо сочетается с терапией другими психотропными препаратами, позволяет значительно снижать дозировки последних, избегая тем самым опасных осложнений и побочных эффектов.

Поиск радиопротекторов – веществ, ослабляющих действие радиоактивных излучений на живые организмы, активно ведётся с конца 50-х годов 20 столетия. Известны две группы радиопротекторов: серосодержащие радиозащитные вещества и производные индолилалкиламинов. Наиболее эффективным средством защиты живого организма от облучения является гипоксия, приводящая к снижению метаболических реакций в организме. Так, уменьшение содержания кислорода в воздухе до 8% увеличивает среднюю летальную дозу мышей на 3 Гр, в то же время снижение уровня кислорода до 10% не приводит к повышению выживаемости мышей, облучённых в больших дозах. Экспозиция животных в ксеноновой атмосфере (30%О₂-70%Хе) приводит к снижению потребления кислорода, т.е. к гипоксии, обусловленной нарушением дыхательных центров митохондрий. Потому ксенон - потенциальный радиопротектор.

Ксенон используют при лечении болезней, связанных с радиоактивным облучением. А такие болезни не редкость для работников предприятий, на которых ведётся переработка и обогащение урана/плутония, или для военнослужащих, связанных с эксплуатацией атомных подводных лодок и складов со спецармиями. Таким образом, при получении больших доз радиоактивного, электромагнитного или СВЧ-облучения даже кратковременное применение лечебной ксеноновой терапии (2-3 раза в неделю) позволяет сохранить репродуктивную функцию человека, исключая вероятность рождения неполноценных детей. После воздействия химиотерапии и радиотерапии ксенон используется как терапевтический лекарственный препарат, восстанавливающий деятельность жизненно важных органов.

Использование ксенона при кардиохирургических операциях на искусственном кровообращении сокращает срок постоперационного пребывания больного в реанимации с десяти до двух суток с полным избавлением человека от психоневрозных осложнений. Ксенон помогает уменьшить последствия инсультов, мозговых травм и других поражений, которые вызывают омертвление нервных тканей. Он способен блокировать работу рецепторов, управляющих нервными клетками, и предотвратить их гибель. Хотя ксеноновая терапия не позволяет восстановить нервные клетки, она сохраняет их и создаёт условия для последующего лечения. Инертный газ неплохой кандидат на роль лекарственного средства, поскольку он входит в наше природное окружение и не токсичен.

Использование ксеноновой терапии позволяет сократить срок снятия абстинентного синдрома (болезненное состояние, появляющееся при употреблении наркотиков и алкоголя) в 1,5 – 2 раза по сравнению с применяемыми в настоящее время методами. Процент лиц, не употребляющих наркотики после прохождения полного курса ксеноновой терапии (включая реабилитацию) и находящихся под наблюдением в течение одного года, составил не менее 50%. Пациент становится практически здоровым человеком.

Применение ксенона в комплексной терапии опийной наркомании позволяет успешно преодолевать негативные и болезненные проявления абстинентного синдрома, при этом: уменьшает проявления вегетативных нарушений; купирует болевой синдром; нормализует сон у больных; в 1.5-2 раза уменьшает время снятия абстинентного синдрома, значительно уменьшает фармакологическую нагрузку. Применение данного метода позволяет эффективно лечить не только абстинентный синдром, но и постабстинентное состояние при опийной наркомании, особенно у больных, имеющих нарушения функции печени и непереносимость специфических фармпрепаратов, используемых при терапии наркотической зависимости.

Одним из главных лечебных эффектов медицинского ксенона является его способность уже в малых концентрациях вызывать обезболивание. Эффект аутоэксперименте наступает уже через несколько глубоких вдохов 70% Xe с O₂. Через 1-2 минуты порог боли возрастает в 2 раза. Это позволяет применять ксенон-кислородную смесь (50:50) в режиме лечебной ингаляционной аутоаналгезии, совершенно безопасной для больного при лечении болевых синдромов на догоспитальном и госпитальном этапах, а также в бытовых домашних условиях. Для этой цели может использоваться портативный ингалятор с подачей аэрозольной смеси путем распыления из баллончика. Область применения режима аутоаналгезии Xe:O₂ смесью весьма обширная: начиная с домашних условий на догоспитальном этапе, при транспортировке пациента и стационарных условиях, при травматических повреждениях, при стенокардии, печеночной и почечной колике, болезненных перевязках, обработке ожоговой поверхности. Наступление аналгезии при вдыхании ксенон-кислородной смеси (70:30) происходит через 2-3 мин.

Аналгетический эффект ксенона успешно используется в комплексной терапии острого инфаркта миокарда. При сеансах ксенотерапии отмечено устранение болей, сокращение болевого периода, уменьшение зоны ишемии миокарда, стабилизация гемодинамики и показателей метаболизма, улучшение нейро-психического состояния.

Антидискомфортный эффект ксенона используется при сеансах химиотерапии у онкологических больных. При масочной ингаляции Xe:O₂ смеси (70:30) (50:50) в день введения химиопрепаратов и на последующие дни, отмечено резкое ослабление или полное исчезновение отрицательных побочных эффектов химиопрепаратов, улучшение общего состояния больных в данной группе по сравнению в контрольной, возможность внесения корректив в установленные ранее стандарты химиотерапии, отмечен положительный экономический эффект ксенон-терапии.

Положительный нейропротекторный эффект ксеноно-терапии отмечен при лечении реанимационного профиля больных в нейрореанимации (при тяжелой черепно-мозговой травме, коматозных состояниях, инсульте, энцефалопатии). Сеансы ксенон-кислородной терапии с лечебной целью приводили к заметному улучшению электроэнцефалографической картины, стабилизации нейро-вегетативных реакций, сокращению периода коматозного состояния.

Противовоспалительный и иммунопротекторный эффект ксенона обнаружен у хирургических больных. По сравнению с однотипной низкопоточной анестезией закисью азота с фентанилом у хирургических больных при холецистэктомии, ксенон обеспечил надежную нейровегетативную защиту, сохранение показателей гомеостаза, стабильное состояние лейко- и лимфопоэза, явный противовоспалительный и иммуномодулирующий эффект. Количество воспалительных осложнений в группе закиси азота оказалось в 4 раза больше, чем при анестезии ксеноном. Общая продолжительность лечения в группе ксенона была на 5 дней меньше, а общая стоимость лечения на 38% ниже, чем при лечении закисью азота.

Органопротекторный эффект ксеноновой анестезии при операциях резекции печени показал, что кислородная доставка к печени и печеночный кровоток при ксеноновой анестезии были выше по сравнению с анестезией закисью азота. Ксенон повышает печеночный и почечный кровоток и обеспечивает лучшую доставку кислорода, что полезно при критических состояниях и Умеренное повышение мозгового кровотока на фоне ксеноновой анестезии, управляемого и коррегированного с помощью легкой гипервентиляции при наличии нейропротекторного действия ксенона и отсутствия у него токсичности, открывают благоприятные перспективы применения ксенона в нейрохирургии и нейрореанимации.

Органопротекторный эффект ксенона заслуживает интереса и при лечении больных хирургического профиля при операциях на органах брюшной полости, заболеваниях печени, почек, поджелудочной железы. Однако при кишечной непроходимости, парезах, атонии кишечника применение ксенон-кислородных смесей должно быть ограничено в связи с быстрой диффузией газа в просвет кишечника или в другие замкнутые ограниченные полости, например при пневмотораксе, воздушной эмболии.

Убедительно показан положительный гемодинамический эффект ксенона. Ксенон гемодинамически стабилен и лишен кардиотоксического действия по сравнению с другими ингаляционными общими анестетиками. Ксенон является лучшей альтернативой в кардиоанестезиологии. Он не создает основы для

возникновения поздних желудочковых потенциалов. Ксенон не оказывает заметного влияния на фазовую структуру сердечного цикла и периферический тонус, нормализует функцию вегетативной регуляции сердечного ритма, не изменяет возбудимость и сократительную способность миокарда.

В акушерской анестезиологии ксенон особенно значим - ведь анестезиолог работает сразу с двумя пациентами, при этом здоровью ребенка уделяют столько же внимания, сколько и состоянию матери. Удивляет, что по-прежнему в акушерской практике в качестве ингаляционного наркоза при «кесаревом сечении» используют закись азота, несмотря на то, что она обладает токсическим действием, нарушает свертывающую систему крови и синтез ДНК. Ксенон же не обладает токсическим действием на организм матери и плода и обеспечивает надежную анестезиологическую защиту. Легкое введение в наркоз, быстрое пробуждение и минимально выраженная посленаркозная депрессия, делают его особенно привлекательным для анестезии в акушерстве.

Можно указать целый ряд физиологических эффектов Xe, которые позволяют его применять в практической пульмонологии: ксенон - мощный анагетик и оказывает седативный и гипнотический эффект, что является важным компонентом в комплексной терапии острой дыхательной недостаточности различного генеза; Xe урежает дыхание, что снижает работу дыхания, сохраняет резервы дыхания и обеспечивает нормальный газообмен при ингаляции Xe:O₂ смеси; перспективным считается применение в пульмонологии ксенон-кислородно-гелиевых смесей; ксенон-кислородная смесь повышает органный кровоток (мозговой, легочный, печеночный, почечный, кишечный, кожный), что создаёт лучшие условия для доставки кислорода тканям; Xe сочетается с бронхолитиками; он создает анаболический фон метаболизма и уменьшает потребность тканей в кислороде; Xe обладает противовоспалительным и иммуномодулирующим действием; у ксенона выражен антигипоксический эффект за счет гиперпродукции токоферола.

Сеансы ксеноновой терапии применяли при лечении алкогольной интоксикации, профилактики алкогольного делирия, абстинентного синдрома, а также лечения наркомании, психических расстройств, депрессивных состояний. Отмечается положительный эффект ксенон-терапии, сокращение периода лечения, быстрое восстановление функциональных показателей. Применение Xe как мощного природного антидепрессанта, представляется заманчивой перспективой в неврологии и психиатрии.

Целый ряд больных, особенно онкологического профиля, отмечают благотворный антистрессовый эффект ксенона. Все они испытывают необычный подъем жизненных сил, повышение физической активности, улучшение общего настроения. Онкологические больные, до этого ослабленные и немощные, отмечали в себе разительные перемены, начинали сами себя обслуживать и настаивали на проведение операций манипуляций только под ксеноновой анестезией. Аналогичное мнение появляется у всех лиц, которые подвергались сеансу ксенон-терапии при вегетативной сосудистой дистонии, неврозах, депрессивных состояниях, физическом утомлении, болезненных ощущениях в мышцах, суставах. На фоне ксенон-кислородной терапии заметно улучшаются психофизиологические параметры эмоционально-волевой сферы пациентов. Этот феномен стимулирующего действия ксенона, отмеченный после 10-30 минутной его ингаляции, остается пока в пределах гипотетических объяснений.

Сейчас проводятся исследования по эффективности жидкостных форм ксенона (молоко, сливки, жировые эмульсии, вода, мази), основанных на барботаже и насыщении жидких сред. Ксенон растворим в липидах (коэф.1,47) и это даёт основание использовать его при различных состояниях в целях обезболивания: (гастрит, дуоденит, язва желудка, стрессовые состояния, переутомление, депрессии и т.д.). Внутривенные введения жировых эмульсий на основе ксенона могут создавать седативный эффект, что является полезным у ослабленных больных реанимационного профиля.

Создаётся принципиально новая рецептура косметических средств с использованием ксенона и организацией собственного опытного производств косметических средств. Косметические средства на основе ксенона обладают уникальными лечебными свойствами, позволяющими поддерживать красоту и здоровье человека. Кроме того, под воздействием ксенона можно с большой вероятностью ожидать антицеллюлитный, противовоспалительный, противозудный и противоболевой эффекты. Прогнозируется благоприятное действие ксенона на воспалительные процессы в области прямой кишки, а также на предстательную железу у мужчин.

1.6 Экономика ксеноновой терапии

Ограниченные запасы ксенона в мире и высокая стоимость газа являлись в прошлые годы главными причинами замедленного его распространения в клинической анестезиологии. Не менее важной задачей остается задача реального снижения стоимости медицинского ксенона, цена на который достигает ныне 6

долларов. Даже при бережном расходе этого газа на двухчасовую анестезию требуется 15-20 литров ксенона (75 - 120 долларов).

У ксеноновой анестезии имеется потенциальный резерв снижения стоимости.

Существует два пути удешевления:

- а) разработка и внедрение технологии рециклинга;
- б) поиск более дешёвого анестетика, аналогичного ксенону по наркотическим свойствам.

Наиболее близкими к ксенону по анестетическим свойствам газами являются криптон и радон. Хотя радон должен проявлять ещё более сильный наркотический эффект, чем ксенон, однако его использование невозможно из-за повышенной радиоактивности этого газа. Таким образом, более дешёвой альтернативой ксенону может быть только криптон. Его стоимость в 15 раз меньше, чем ксенона, но его биологические эффекты пока слабо изучены. Тем не менее, ожидается, что использование криптона при повышенных давлениях может дать положительные эффекты для использования в медицине: от лечения и реабилитации различных стрессовых состояний при нормальном барометрическом давлении до анестезии, не уступающей по силе и положительным свойствам ксеноновой, при повышенном давлении.

В настоящее время более перспективным способом снижения стоимости ксенона является рециклинг - переработка использованных для наркоза ксенон содержащей смеси газов (газ, выдыхаемый из наркозного аппарата, утилизируется путем адсорбции специальным устройством (блок адсорбера), который после заполнения подвергается температурной десорбции, очищенный ксенон возвращается потребителю для повторного использования, что резко снижает стоимость и дефицит ксеноновой анестезии), чего нет у перечисленных анестетиков.

Сегодня проблема высокой стоимости ксенона, по-видимому, преувеличена.

Табл. 1. Сравнительная стоимость двухчасовой ксеноновой анестезии (2005 г.)

Анестезия с применением пареообразующих анестетиков (изофлуран, севофлуран, десфлуран)	55 у.е.
Анестезия с применением ксенона	80-112 у.е.
Анестезия с применением вторичного ксенона	50-90 у.е.

Как видно, цена ксеноновой анестезии с учётом рециклинга не уступает по стоимости традиционным ингаляционным анестетикам. Но, учитывая его свойства, он становится значительно привлекательнее для применения в анестезиологии.

Опыт использования ксеноновой терапии в наркодиспансерах показал, что стоимости традиционного и ксенонового курсов лечения практически одинакова (26993/27566 р) при значительном снижении в три раза сроков лечения (21/7 дн). При этом имеется ряд преимуществ перед традиционными методами лечения: более быстрое проведение детоксикации организма, значительное снижение выраженности вегетативных психосоматических расстройств; выраженный анальгетический эффект ксенона; уменьшение медикаментозной нагрузки; ранняя адаптация больного к препаратам антагонистам опиатных рецепторов; сокращение сроков лечения; более раннее начало реабилитационного этапа лечения.

При длительных операциях ксенон оказывается сравнительно дешёвым. Как известно, традиционные анестетики потребляются практически равномерно в каждый последующий час операции. С ксеноном не так: происходит насыщение, и в каждый последующий час его потребляется все меньше и меньше. Употребление ксенона в таких случаях не только безопасно и обеспечивает быстрое пробуждение без побочных эффектов, но и экономически оправдано. При этом анестезия адекватной глубины обеспечивается на протяжении всей операции.

Высокая стоимость ксенона привела к необходимости разработки технологии ксенон-сберегающей анестезии – это сочетание минимально-поточной анестезии с рециклингом выдыхаемого ксенона, включающего в себя процессы утилизации отработанного ксенона путем адсорбции газа на выходе из наркозного аппарата, накоплении отработанного газа с последующей десорбции его из адсорбера, тщательной очистки в производственных условиях и повторного и неоднократного использования. Технология ксенон-сберегающей анестезии в 30-36 раз дешевле среднеспоточной анестезии ксеноном.

При оценке будущих цен на ксенон нужно учитывать ещё одно важное обстоятельство. Всемирная организация здравоохранения рекомендовала запретить производство фтор- и хлорсодержащих анестетиков (т.е. основных компонентов современного наркоза) в 2030 году. Тогда стоимость традиционных анестетиков превысит стоимость медицинского ксенона.

1.7 Производство медицинского ксенона

Ксенон широко представлен во Вселенной – в атмосфере, природных газах, минералах, космосе. Относительная распространённость атомов ксенона на Земле (включая океаны, атмосферу) характеризуется

величиной $2,39 \cdot 10^{-11}$. Содержание криптона и ксенона в атмосферном воздухе по объёму и весу составляет соответственно 0,000087% и 0,000039% атмосфере ($0,086 \text{ см}^3$ в 1 м^3). На сегодняшний день воздух остаётся наиболее освоенным, а также неисчерпаемым источником промышленного получения ксенона: 1 млрд. тонн ксенона, который содержится в земной атмосфере, в состоянии обеспечить на неопределённо долгие времена потребности человечества в этом газе при любом высоком уровне его потребления. Несмотря на относительно малое содержание ксенона в атмосферном воздухе (для получения 1 м^3 ксенона необходимо переработать по меньшей мере 11 млн м^3 воздуха) при существующих в настоящее время масштабах разделения воздуха для получения из него главным образом кислорода можно извлекать довольно значительные количества криптона и ксенона.

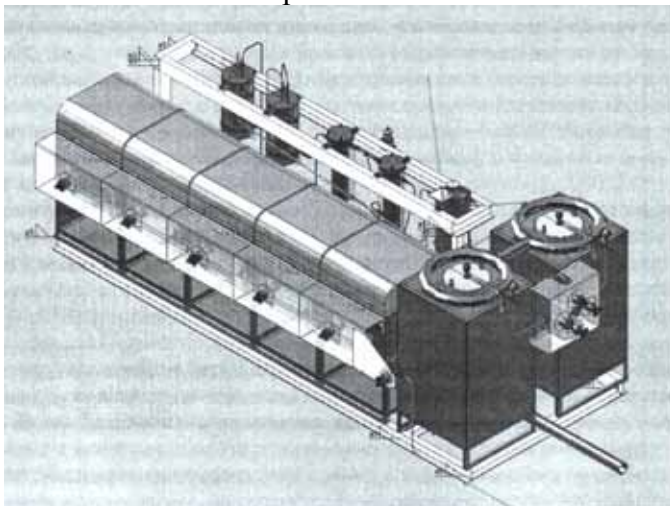


Рис. 1. Завод по производству медицинского ксенона.

Ксеноном в 1994 году заинтересовались в Научно-исследовательском и конструкторском институте энерготехники им. Н.А.Доллежалы (НИКИЭТ) как теплоносителем реактора в космических ракетных двигателях (в частности для ядерно-двигательной установки для пилотируемой миссии на Марс). Теплоносителем космической ядерной энергодвигательной установки при производстве электроэнергии является ксенон, чистота которого поддерживается на высоком уровне (99,999%). Подобные требования к



качеству ксенона привели к необходимости разработки специальных систем очистки, которые обеспечивали бы столь высокую чистоту ксенона в течение десятков тысяч часов (3-5 лет). Обладая технологией получения сверхчистого ксенона, НИКИЭТ выиграл тендер на производство криптона и ксенона особой чистоты для крупной экспериментальной физической установки (физики ИТЭФ, занимающиеся высокими энергиями, предложили для детектора L3 калориметр на сверхчистом ксеноне) Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН, Женева, Швейцария) и в 1993 создал завод по производству криптона в объёме $10000 \text{ м}^3/\text{год}$ и ксенона в объёме $1000 \text{ м}^3/\text{год}$. В основу сооружения завода были положены технологии, которые применялись при создании энергодвигательных установок. После окончания этого проекта стали искать пути применения сверхчистых газов. В 1994 в Томске и Екатеринбурге начались первые исследования применения ксенона в медицинских целях. Первые операции были сделаны на печени. Далее возникла идея лечения наркомании с помощью ксенона. НИКИЭТ создал технику для наработки медицинского ксенона, т.к. в мире не было производства сверхчистого ксенона в промышленных масштабах.

Достаточно крупное производство сверхчистого ксенона в НИКИЭТе в начале 90-х годов, послужило основанием для расширения сфер его использования помимо космической энергетики и физических экспериментов с частицами сверхвысоких энергий.

Дефицита ксенона в России нет. Официальным производителем ксенона является предприятие ООО «Анкела-Н», имеющее регистрационное удостоверение на производство и продажу медицинского ксенона в лечебные учреждения страны и в другие регионы России в неограниченном количестве.

1.8 Аппаратура для ксенонового наркоза

Как уже упоминалось, Россия – первая и единственная страна в мире, в которой официально разрешён ксенон для широкого медицинского применения. Однако, в связи с дефицитом и высокой стоимостью ксенона анестезия должна быть минимально-поточной, поскольку среднепоточная анестезия ксеноном экономически нерентабельна. В этой связи ксеноновая анестезия основана на новой современной идеологии - анестезии в закрытом или условно закрытом контуре. К сожалению, стандартная отечественная наркозная аппаратура и мониторное оборудование не способны были обеспечить минимальный поток газов и жидких анестетиков, поэтому ксеноновый наркоз происходит преимущественно в тех учреждениях, которые имеют импортную наркозно-дыхательную технику.

Поскольку отечественные наркозные аппараты рассчитаны на высокопоточную анестезию, то первые операции с ксеноновым наркозом проводили на аппаратах «Полиаркон-5» и «Медиморф», снабжённых ксеноновой приставкой. В состав аппаратуры ввели три комплектующих блока: электронный дозиметр ксенона, позволяющий контролировать реальный расход газа во время анестезии, газоанализатор бинарных газов (Xe и O_2) и «Адсорбер» блок адсорбции выдыхаемого ксенона. С появлением новых стационарных сертифицированных наркозных аппаратов открылись перспективы применения технологии ксенон-сберегающей анестезии в практической анестезиологии. В настоящее время созданы условия проведения ксеноновой анестезии по закрытому контуру: общий расход ксенона на 2-х часовую операцию сократился до 6-8 литров. Наркозно-дыхательный прибор АКЦЕНТ-Х, специально доработанный до процесса работы с закрытым контуром не использует процесс рециклинга, т. к. потери Xe во время операции ничтожно малы.



Рис. 2. Портативный наркозно-дыхательный аппарат «КСИН».

Второй компонент технологии ксенон-сберегающей анестезии основан на рециклинге газа. Система рециклинга Xe включает сбор израсходованного выдыхаемого ксенона, хранение, его тонкую очистку и повторное использование. Выдыхаемый ксенон не выбрасывается в атмосферу операционного блока, а полностью адсорбируется. Были созданы изделия такого рода с различным составом активных сорбентов и разной конфигурацией сорбционных камер, рассчитанных на утилизацию 300 л сухого газа.

Если принять во внимание возврат 80-85% израсходованного Xe , то стоимость 2-х часовой анестезии по минимальному газотоку снижается в 5 раз по сравнению с минимальнопоточной анестезией без рециклинга газа. На базе технологии рециклинга строится стратегия снижения стоимости ксенона и увеличения числа ксеноновых анестезий при неизменном объеме производства газа.

Для широкого применения ксенона в лечебных целях перспективным считается метод масочной анестезии с сохранением спонтанного дыхания, поскольку может выполняться как врачом анестезиологом, так и самим пациентом.

Применение ксенона в клинической практике связано с необходимостью создания адаптированной к Xe наркозной техники (низкопоточных установок), и контрольно-измерительной аппаратуры, т.е. переоборудования парка наркозной аппаратуры. Основное требование – герметичность при малых потоках ксеноновой смеси – должно способствовать экономии ксенона. Для осуществления методики сберегающей низкопоточной ксеноновой анестезии нужно иметь современный наркозно-дыхательный аппарат, работающий по закрытому малопоточному контуру с расходом ксенона 15-20 литров на 2,5-3,0 часовую операцию.

Аппарат портативный ингаляционного наркоза «КСИН-Аврора» Недавно созданный аппарат портативный ингаляционного наркоза регулируемой смесью кислорода и ксенона (диапазон концентраций Xe 30-70%) «КСИН» предназначен для оказания медицинской помощи в отделениях интенсивной терапии и реанимации. Функциональные задачи, отражающие назначение аппарата, решаются на элементах пневмоавтоматики. Аппарат регулирует потоки кислорода в диапазоне 0-10 л/мин, ксенона 0-5 л/мин. Он обеспечивает плавную регулировку концентрации ксенона в смеси с кислородом в диапазоне 30-75% и экстренную подачу кислорода пациенту 45 л/мин. ООО «Ангела-Н» разработана универсальная приставка КНП-01, которая хорошо зарекомендовала себя в применении ксеноновой анестезии.



Рис. 3. Аппарат портативный ингаляционного наркоза «КСИН-Аврора»

Есть предположение, что в ближайшее время потребность в ксеноне как в лекарственном терапевтическом препарате значительно возрастёт. Отсутствие портативных аппаратов и дозиметров по ксенону затрудняет его внедрение в МЧС, военной медицине, скорой медицинской помощи. Ксенон снимает болевые шоки, поэтому в местах техногенных и природных катастроф он просто необходим. Он необходим и спасателям для снятия психических нагрузок, которыми они получают в процессе своей

работы. Ксенон можно применять для снятия психологических и физических нагрузок, которые испытывает человек в экстремальных условиях, например у операторов атомных станций, лётчиков, подводников и т.п. Поэтому создание аппаратов переносной и стационарной модификаций – актуальная задача.

Перечислим некоторое выпускаемое в России оборудование для ксенонового наркоза.

Аппарат портативный ингаляционного наркоза «КСИН-Аврора» предназначен для проведения наркоза смесью кислорода и ксенона в медицинских и оздоровительных учреждениях, в т.ч. в отделениях интенсивной терапии и реанимации, для лечения болевых синдромов, депрессии, стрессов, наркозависимости.



Рис. 4. Адсорбер БУК

Приставка ксеноновая универсальная к ингаляционному и наркозно дыхательному оборудованию (блок улавливания ксенона - "БУК") предназначена для сбора отработанного Хе, который в процессе производства извлекается, очищается до качества медицинского и возвращается в медучреждение по цене ниже закупочной. Адсорбер, являясь составной частью наркозного аппарата, улучшает его функциональные качества тем, что в общем случае предотвращает загрязнение

атмосферы рабочего места, защищая медицинский персонал от воздействия анестетика.

Газоанализатор бинарных вдыхаемых газовых смесей: два основных канала измерения: канал измерения объёмной доли кислорода и канал измерения объёмной доли второго компонента (ксенон, закись азота или гелий) + вспомогательный канал контроля проскоковой концентрации ксенона + вспомогательный канал измерения температуры

Закрытый дыхательный контур для ингаляции ксеноно-кислородной смесью - дополнительное устройство к АИН «КСИН-АВРОРА». Позволяет обеспечить циркуляцию смеси по реверсивному типу.

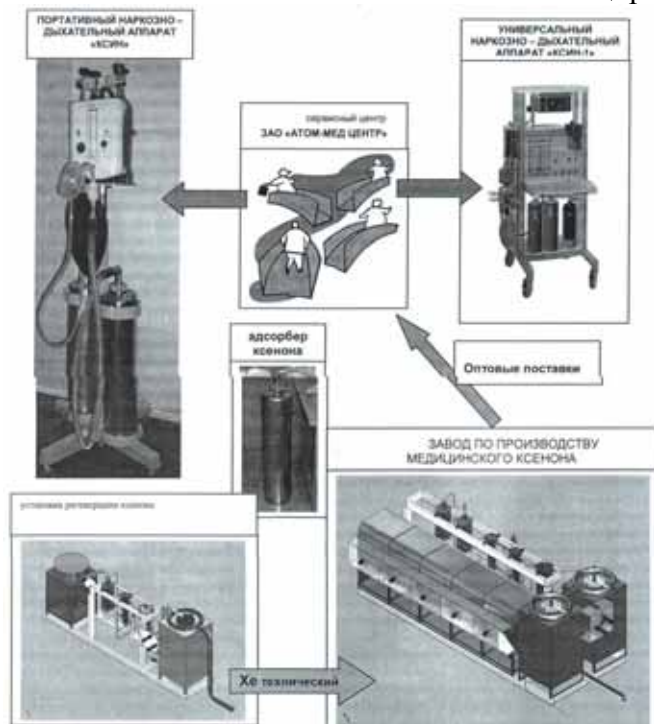


Рис. 5. Ксеноносберегающий комплекс

1.9 Рециклинг ксенона

Необычность ксеноновой анестезии состоит в том, что она неизбежно связана с технологией рециклинга «отработанного» газа. Рециклинг ксенона – основная и существенная часть общей задачи снижения стоимости ксенона и увеличения числа ксеноновых анестезий без изменения уровня промышленного производства ксенона. Технология рециклинга включает в себя процесс утилизации отработанного ксенона путём адсорбции газа на выходе из наркозного аппарата, накопления отработанного газа с последующей десорбцией его в производственных условиях, тщательной очисткой для повторного и неоднократного использования

Технология ксеноновой анестезии это не просто анестезия новым газом. Она предполагает организованную систему, которая может существовать на основе тесного взаимодействия лечебного учреждения с предприятием – производителем ксенона медицинского ООО Акела-Н, которое доставляет ксенон, инструктирует персонал по технике его применения, принимает собранный газ на регенерацию, производит перерасчёт его стоимости с последующим возвратом очищенной части ксенона потребителю, производит подготовку врачей на специальных курсах усовершенствования.

Внедрение технологии ксенон-сберегающей анестезии обусловлено не только экономическими причинами, но и стремлением к экологической безопасности, поскольку накопление ксенона вблизи рабочего места анестезиолога при плохой вентиляции может вызвать у персонала состояние лёгкого опьянения. В этой связи анестезия ксеноном по открытому контуру нецелесообразна по экономическим и экологическим причинам. Поэтому необходимо применять низкпоточную анестезию с обязательной утилизацией ксенона на выходе из аппарата или удалением его за пределы операционной, если не применяется специальный блок адсорбера.

Общий расход Хе составляет в среднем 20 л на операцию продолжительностью 110 мин. Для рециклинга желательно собирать 60 - 85% от затраченного Хе.

В конце 20-го века специалистами дочерних предприятий ФГУП НИКЭТ им. Н.А.Доллежала – Техноцентром ЛТ (г. Заречный) и ЦВТТ была разработана технологическая схема ксеноносберегающего комплекса, позволяющего многократное использование медицинского ксенона, которая и реализуется в настоящее время.

Суть технологии заключается в следующем. Выдыхаемая пациентами газонаркотическая смесь проходит через адсорбер на котором высаживается ксенон. Далее накопленный в сорбенте ксеноновый концентрат извлекается из адсорбера и поступает на установку очистки ксенона для восстановления до качества медицинского. Данная технология позволяет снизить стоимость медицинского ксенона за счёт его многократного использования.

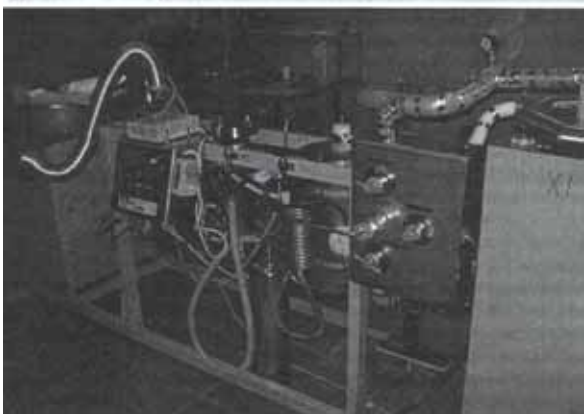
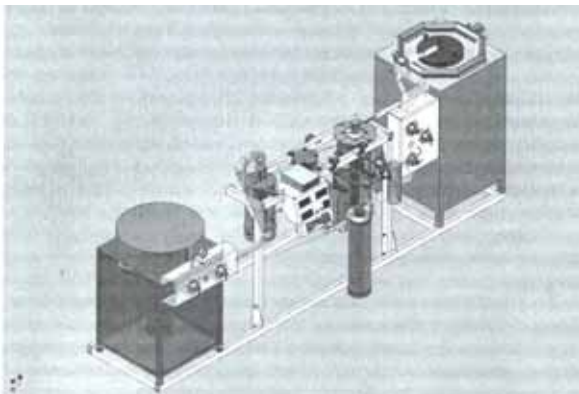
Рис. 6. Установка регенерации ксенона (УРК).

Ксеноносберегающий комплекс включает в себя следующие основные элементы:

- Наркозно-дыхательный аппарат (КСИН-1), обеспечивающий подачу ксенонового анестетика и включающий адсорберы ксенона (блок улавливания ксенона – БУК);
- Установку регенерации ксенона, позволяющую извлекать ксеноновый концентрат из адсорберов в стандартные баллоны;
- Установку очистки и получения медицинского ксенона

Аппарат предназначен для проведения в стационарных условиях ингаляционного наркоза Хе, закисью азота и парообразующими ингаляционными анестетиками с кислородом и воздухом.

Улавливание ксенона из газонаркотической смеси проводится блоком улавливания ксенона (БУК). БУК представляет собой проточный аппарат с засыпанным адсорбентом (активированным углём) объёмом 7,5 л. При комнатной температуре БУК способен поглотить до 150 л ксеноновой смеси. Кислород не поглощается адсорбентом и свободно выходит в атмосферу. В БУКах в сорбированном виде находятся следующие компоненты: ксенон 100 л (550 г), вода 10- 50 г, углекислый газ 6 л (12 г), азот и кислород – 30 л (40 г). Возможно присутствие метана и закиси азота в количествах не более 0,01 об.% по отношению к ксенону. В газовой фазе в блоках находятся кислород и азот. Количество воды в блоках зависит от



влажности и температуры окружающего воздуха, при которых проводилась ингаляция, а также от количества поглощённого в блоке ксенона.

Установка регенерации ксенона (УРК) предназначена для регенерации БУКов. В ней используется принцип разности давлений газов в сообщающихся сосудах. Разность давлений рабочих сред создаётся за счёт нагрева (150-180°C) одного из участвующих в процессе сосудов и охлаждении другого. Для освобождения от H₂O и CO₂ десорбированный газ пропускают через адсорбент (цеолит или натронную известь). Вода вымораживается при -50°C. При поступлении оставшихся газов в баллоны (O₂, N₂ и Xe) происходит процесс конденсации и кристаллизации Xe. Не сконденсировавшиеся кислород и азот удаляются из баллонов в атмосферу.

Конструкция обеспечивает сохранность БУКов при аварийных ситуациях. Использование в установке приёмных баллонов, выполненных из легированной стали, позволяет обеспечить их охлаждение до температуры жидкого азота и соответственно достаточно низкое давление газов в них (0,5 бар). Большая разность давлений газов в БУКах и приёмных баллонах способствует более полному извлечению Xe из сорбента. В десорбер можно загружать до пяти БУКов.

Установка УРК производит ксенон грубой очистки или технический ксенон. Требования к медицинскому ксенону существенно более жёсткие (Табл. 2).

Блок адсорбции предназначен для утилизации выдыхаемого «отработанного» Xe путем адсорбции газа. Его сорбционная емкость рассчитана на 300-350 литров Xe; он обеспечивает проведение 15 двухчасовых операций под ксеноновой анестезией. При каждой ксеноновой анестезии с применением адсорберов исключается выброс газа в помещение операционного блока и обеспечивается возврат более 85% расходуемого ксенона. После заполнения емкости адсорбер снимается, заменяется другим, а прежний отправляется на завод, где осуществляется высокотемпературная десорбция ксенона и производится его очистка в соответствии с требованиями Фармакопейной статьи. После очистки партия газа и свежий блок адсорбера направлялись обратно потребителю для повторного использования. Если принять во внимание возврат 80-85% израсходованного Xe, то стоимость 2-х часовой анестезии снижается до 20 долл.

Флуометр по Xe, ДКМ-01 регистрирует поток Xe в мл/мин и общий его расход за время операции. Он формирует газонаркотическую смесь при минимальных потоках, что позволяет проводить анестезию в том числе и в детской практике. Газоанализатор бинарных газов ГКМ-03 обеспечивает контроль концентрации Xe в газонаркотической смеси. Присоединение указанных комплектующих к базовому наркозному аппарату значительно увеличивает его функциональные свойства и обеспечивает проведение ксеноновой анестезии. Все указанные комплектующие изделия смонтированы на отдельной подвижной тележке и в виде наркозной приставки могут присоединяться к любому наркозному аппарату отечественного и зарубежного производства.

В состав установки по производству ксенона медицинского УКМ-5 входят два блока, один из которых осуществляет регенерацию ксенона из БУКов, а второй производит тонкую очистку технического ксенона. В установке производства медицинского ксенона используется адсорбционный способ очистки газа от сопутствующих компонентов, а также глубокое охлаждение Xe. В блоке тонкой очистки ксенона от примесей азота, кислорода и водорода очистка проводится на активированной титановой губке с последующей выморозкой ксенона при -50°C.

Табл. 2. Требования к медицинскому ксенону

Состав ксенона	Норма для марки в объёмных %	
	А	Б
Ксенон, не менее	99,999	99,999
Криптон, не более	5×10^{-4}	5×10^{-4}
Аргон, не более	1×10^{-4}	1×10^{-4}
Кислород, не более	1×10^{-4}	$0,2 \times 10^{-4}$
Азот, не более	2×10^{-4}	1×10^{-4}
Оксид и диоксид углерода, не более	1×10^{-4}	1×10^{-4}
Водород, не более	1×10^{-4}	$0,2 \times 10^{-4}$
Другие углеводороды (C _n H _m), не более	1×10^{-4}	1×10^{-4}
Четырёхфтористый углерод, не более	$0,5 \times 10^{-4}$	$0,5 \times 10^{-4}$
Водяной пар, не более	1×10^{-4}	1×10^{-4}

Следует отметить, что БУК выполнен конструктивно таким образом, что может быть присоединён к любому отечественному или зарубежному дыхательному наркозному аппарату, работающему по закрытому и полужакрытому контуру. Эта универсальность существенно упрощает технологию работы с ним в медицинских учреждениях.

*_*_*

В России проведено несколько сотен операций под ксеноновым наркозом в общей хирургии, гинекологии, сосудистой хирургии. Успешно начала проводится ксеноновая анестезия при операциях на сердце в условиях искусственного кровообращения. Каких либо осложнений не было зафиксировано. Ксенон обеспечивает достаточную анестезиологическую защиту и легко управляем. Расчеты показали, что общее количество операций под наркозом с использованием Хе в ближайшее время может возрасти в 10 и более раз. Минимально-поточная анестезия ксеноном в сочетании с рециклингом решает проблему снижения стоимости ксенона и его дефицитности. Общие запасы ксенона в России при этом условии будут возрастать. Ксенон является лучшей альтернативой закиси азота и займет свое достойное место в современной анестезиологии.

Внедрение технологии ксенон-сберегающей анестезии и активная модернизация существующего парка наркозной аппаратуры в России создадут все предпосылки для внедрения ксеноновой анестезии в широкую клиническую практику. С разработкой ксеноновой анестезии открывается новая и наиболее интересная страница в современной анестезиологии.

2. РАДОНОТЕРАПИЯ

Тяжёлый инертный газ – радон-222 успешно используется в лечении целого ряда заболеваний. Бальнеолечение применяется в медицине с давних времен (более трехсот лет) с использованием термальных радоновых вод и ингаляцией радон-содержащего воздуха. Хотя до открытия радиоактивности (1896) никто не подозревал о присутствии в таких водах радона. Высокая эффективность применения радиоактивных вод в оздоровительных целях доказана многочисленными экспериментальными и клиническими исследованиями и широко освещена в литературе. Более того, в последнее время появляется все больше доказательств, что без радона вообще невозможно нормальное существование человека. Радон необходим для нормальной жизнедеятельности организма, стимуляции его защитно-приспособительных реакций, ведёт к увеличению продолжительности жизни, плодовитости и устойчивости организма к различным заболеваниям, в том числе и к онкологическим.

О целебных свойствах радоновых ванн люди знали задолго до открытия радиоактивности. Они замечали, что после купания в некоторых источниках и пребывания в пещерах у них прибавлялось сил и отступали болезни. Воды Баден-Бадена были известны еще древним римлянам. Они построили на источниках Civitas Anurelia Aquensis – так тогда назывался Баден-Баден - большие купальные сооружения для своих солдат, а в 214 н.э. - императорские купальни – Термы Каракалла. Спустя столетия, в 1861, Р. Бунзен сделал первый химический анализ вод знаменитого курорта, а в 1904 физик Х.Ф. Гайтель и житель Баден-Бадена аптекарь О. Ресслер открыли радиоактивность баденских вод. В этом же году была выявлена радиоактивность многочисленных термальных целебных источников еще одного курорта Германии – Бад Кройцнаха, построенного в 1817, а в 1912, после обнаружения радоновых штолен, на курорте был открыт первый в мире ингаляционный радоновый центр.

В 1904 в прессе появились первые сообщения о радиоактивности вод Бад Гаштайна (Bad Gastein) в Австрии, известных своими исцеляющими свойствами с древнейших времен. Долгое время они причислялись к классу «акратотермы» (безразличные, дикие воды, Willdbäder).

Первый в мире радоновый курорт был построен в 1911 в чешском городе Яхимов, где проводили свои опыты с урановой рудой лауреаты Нобелевской премии 1903 Пьер и Мария Кюри, и его по праву называют колыбелью атомного века. С именем Марии Кюри связан еще один радоновый курорт. Ежегодно в начале августа в небольшом японском городке Мисаса проходит фестиваль Марии Кюри. На улицах самого известного радонового курорта Японии установлены памятники самураю Окудо Саманосукэ, которому 800 лет назад бог Миокен указал путь к исцеляющим горячим источникам, и Марии Кюри, женщине, которой человечество обязано открытием целебных свойств радона. Первый путеводитель по радоновым курортам, которые вошли в особую категорию - Radiumbad был издан в 1906 г. Список включал 30 источников радоновых вод на 11 курортах в Австрии, Богемии, Германии и Италии.

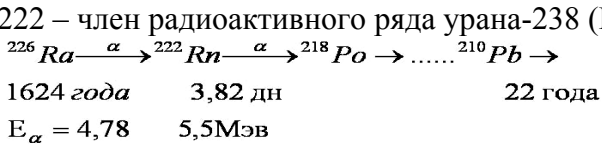
Первый радоновый российский курорт Белокуриха был построен в 1867 на горячих источниках, известных с древних времен. Воды и газы Белокурихинских теплых источников были исследованы в 1907-1908 сотрудниками Томского технологического института. Радиоактивность воды и газа Белокурихинских терм в 9,4 раза больше радиоактивности воды и газа Нарзана и с тех пор Белокуриха развивается как

радоновый курорт. Заметим, что азотные кремнистые термы Белокурихи относятся к слаборадоновым водам, а радиоактивность Нарзана всего лишь фоновая норма для горной местности.

Исследования радиоактивности вод проводились по всей России. В 1905 И.А. Багашев опубликовал работу, содержащую описание 165 минеральных источников Забайкалья и результаты 61 анализа этих источников, в том числе и на радиоактивность. Р.И. Свинне в 1910 исследовал радиоактивность водных источников Латвии, Эстонии, Псковской и Новгородской губерний. Инженером-технологом Э.Э. Карстенсом в 1907 была определена радиоактивность 26 минеральных источников и составлена таблица активностей Пятигорских, Ессентукских, Железноводских, Кисловодских минеральных источников. Радиоактивность теплосерных источников Пятигорска составила 40 - 100 ед. махе (14,5 -36,4 нКи; 540-1350 Бк).

Радон – самый тяжелый из благородных газов. Он не имеет ни запаха, ни вкуса, прозрачен и бесцветен. Его плотность при 0°С равна 9,81 кг/м³, т. е. почти в 8 раз больше плотности воздуха. Поэтому радон накапливается в подвалах, горных выработках, пещерах, туннелях, глубоких ямах и т.п. Радон легко подвижен и атмосферными потоками переносится на большие расстояния, он также довольно хорошо растворим в воде, и перемешается вместе с грунтовыми и поверхностными водами.

Известно 19 изотопов радона (все – радиоактивны), из которых три являются природными: ¹¹⁹Rn (An, актинон, период полураспада, T_{1/2}= 3,92 сек), ²²⁰Rn (Tn, торон, T_{1/2}= 51,5 сек) и ²²²Rn (Rn, радон, T_{1/2} = 3,82 дн). ²²²Rn – образуется в ряду ²³⁸U, ²²⁰Rn – в ряду ²³²Th, ²¹⁹Rn – в ряду ²³⁵U. В 1 м³ воздуха при нормальных условиях содержится 7*10⁻⁶ г радона. Содержание радона в атмосфере оценивается порядка 7*10⁻¹⁷ вес.%. Радон-222 – член радиоактивного ряда урана-238 (Рис. 2). В сокращенном виде схема его распада:



№ эле-мента	Эле-мент	Изо-топы													
		²³⁸ U 4.47*10 ⁹ лет	²³⁴ Pa 1.17 мин и.п.(0,3%) ²³⁴ Pa 6.75 часа	²³⁴ U 2.45*10 ⁵ лет	²³⁰ Th 7.7*10 ⁴ лет	²²⁶ Ra 1600 лет	²²² Rn 3.825 дня	²¹⁸ Rn 0.02 сек	²¹⁸ Po 3.05 мин	²¹⁴ Po 1.6*10 ⁻⁴ сек	²¹⁰ Po 138.38 дня	²¹⁰ Pb 5.01 дня 3.0*10 ⁶ лет	²¹⁴ Pb 26,8 мин	²¹⁰ Pb 22,3 года	²¹⁰ Pb 1.32 мин
92	U														
91	Pa														
90	Th														
89	Ac														
88	Ra														
87	Fr														
86	Rn														
85	At														
84	Po														
83	Pb														
82	Pb														
81	Pb														

Рис. 7. Семейство урана -238.

Радон в больших дозах чрезвычайно опасен: он радиоактивен и вызывает поражение лимфоузлов, селезенки и костного мозга. В то же время, что при малых дозах, используемых в радонотерапии, радон, наоборот, вполне полезен. Причина заключена в явлении радиационного гормезиса. Ионизирующие излучения в малых дозах не только не вредны, а полезны и даже жизненно необходимы всему живому. Живые организмы (одноклеточные, растения, млекопитающие), искусственно лишённые природного радиационного фона, погибают в течение трёх недель. С другой стороны, у людей, живущих в районах с повышенным радиационным фоном (высокогорные области Ирана, Китая, Тибета), средняя продолжительность жизни выше, а заболеваемость ниже, чем у людей, живущих в условиях обычного природного фона. Радонотерапия чрезвычайно популярна во многих странах мира. Такие курорты как Баден-Баден (Германия), Гаштейн (Австрия), Мисаса (Япония), Пятигорск, Сочи-Мацеста и Белокураха (Россия), Цхалтубо (Грузия) принимают ежегодно миллионы пациентов. Во многих городах открыты центры радонотерапии.

Радонотерапия - это различные методы физиобальнеолечения, при которых лечебный эффект достигается за счет воздействия на организм излучений радона и его дочерних продуктов.

В медицине используется изотоп ^{222}Rn , который при своем распаде выделяет α -излучение, которое поглощается молекулами воды и на организм человека практически не действует. Продукты распада радона образуют на теле человека активный слой, который и оказывает лечебное воздействие. В терапии радон применяется в виде водных и воздушных ванн, душей, купаний в лечебных бассейнах, орошений, микроклизм, ингаляций или питья.

Радоновые ванны – из воды естественных радоновых источников или обычной пресной воды, насыщенной радоном, для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы и др.

Воздействие радона приводит к болеутоляющим и успокаивающим эффектам. Он улучшает восстановление нервных волокон и уменьшает воспалительный процесс, влияет на функцию желез внутренней секреции (в частности, на щитовидную железу), на овариально-менструальный цикл, на белковый обмен, что сказывается в усилении выделения мочевой кислоты. Поступление радона в организм улучшает обмен веществ, повышает потенцию и сексуальное влечение, оказывает противовоспалительное и обезболивающее действие, улучшает работу сердечно-сосудистой системы, нормализуют сон. Радоновые ванны в основном используются для лечения кожных и нервных заболеваний, болезней кровообращения, подагры. Иногда радоновую воду назначают внутрь для лечения заболеваний желудка и кишечника. В гинекологии активно используют орошения радоновой водой.

Как и любой вид лечения, радонотерапия требует повышенного контроля со стороны врачей.

Для радоновых ванн используется вода природных радоновых источников или пресная вода, искусственно насыщенная радоном.

К естественным радоновым водам относят минеральные воды, содержащие короткоживущие радиоактивные вещества - радон и дочерние продукты его распада. Естественные радоновые воды имеют низкую минерализацию (до 2 г/л) и сложный газовый состав (радон, азот, углекислый газ). Различают:

- 1) воды с малой концентрацией радона - от 0,2 до 1,5 кБк/л;
- 2) воды со средней концентрацией радона - от 1,5 до 7,5 кБк/л;
- 3) воды с высокой концентрацией радона - выше 7,5 кБк/л.

Минимально действующими лечебными концентрациями радона считаются: для водных ванн - 200 Бк/л, для питья - 4000 Бк/л. Действие радиоактивных излучений определяется величиной поглощенной организмом дозы излучения. Предельно допустимое облучение больного (на курс лечения) составляет при приеме водных ванн концентрацией 34 кБк/л, воздушных - 9,4 кБк/л, при вдыхании радона и его продуктов - 0,7 кБк/л, при питье радоновой воды - 2,7 МБк. Естественные радоновые ванны обладают выраженным успокаивающим и болеутоляющим действием, улучшают деятельность сердца, нормализуют артериальное давление. Под влиянием радоновых ванн ускоряются процессы заживления и рассасывания в нервных волокнах, мышечной и костной ткани.

При искусственном приготовлении радоновых ванн чаще всего применяют концентрацию радона 1,5 - 7,5 кБк/л. Источником для получения радона является препарат радия, который хранят в барботере, в свинцовом контейнере. В результате распада радия образуется радон, который по специальной методике переводят в бутылку с водой для приготовления концентрированного водного раствора и последующего розлива в порционные бутылки вместимостью 100 мл. Для приготовления радоновой ванны концентрированный водный раствор радона выливают из бутылки через сифон на дно ванны, предварительно наполненной водой заданной температуры, с последующим перемешиванием воды в ванне. Для лиц больных инфарктом применяются четырехкамерные ванны. То есть вместо полного погружения сейчас в радон

погружаются только руки и ноги. При этом достигается очень хороший положительный эффект для сердечно-сосудистой системы, а вредный общий эффект, такой как повышение давления, полностью устраняется.

Излучение радона действует во время радоновых ванн на нервные окончания, заложенные в коже человека. Продукты распада радона – активный налет – откладываются на погруженное в воду тело. При распаде этого налета организм подвергается действию радиоактивного излучения еще 3 часа после выхода из ванны. При приеме общей радоновой ванны в кожу проникает 40% радона от его количества в воде. Из-за небольшой скорости диффузии в кожу радон постепенно накапливается в ней, образуя активный налет, частично проникает в кровеносные сосуды и переносится с кровью к внутренним органам. Количество проникшего в организм радона тем больше, чем больше время приема ванны, чем больше концентрация радона в воде, чем ниже температура воды; чем больше возраст больного, тем меньше радон проникает через кожу. Проникший в тело радон выделяется через легкие, почки и потовые железы.

К концу ванны в коже депонируется 60% радона, который после окончания процедуры выводится из организма в основном через легкие (3/5) и кожу (2/5). Через 2-3 ч радон практически полностью покидает организм. При приеме радоновой ванны 90% поглощенной энергии излучения концентрируется в коже. В результате 15-минутной радоновой ванны доза, поглощенная кожей, в сотни раз превышает ее естественное фоновое облучение за 2 ч воздействия. Облучение других органов и тканей, кроме жировых (4% поглощения) и почек (30%), находится в пределах суточных колебаний фона. На депонирование и скорость движения в организме радона и дочерних продуктов его распада влияют температура воды и ее газовый состав. Повышение температуры воды ускоряет движение радона из кожного депо, а углекислый газ, оседающий на коже в виде мелких пузырьков, препятствует образованию активного налета на коже, снижает поступление радона и его дочерних продуктов в организм, и, следовательно, снижает облучение организма. Радоновые воды используются и питьевого лечения, в основном – для улучшения функции почек. Кроме того, радоновые воды оказывают болеутоляющее действие, улучшают обменные процессы, усиливают двигательную функцию гладкой мускулатуры верхних мочевыводящих путей, желудка, кишечника и др.

Для лиц, плохо переносящих водную среду, используются суховоздушные радоновые ванны. Эти ванны, как правило, сочетаются с ингаляцией радоново-воздушной смеси, что позволяет лечить бронхиальную астму и бронхиты.

Радонотерапия применяется при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, органов пищеварения, центральной и периферической нервной системы, кожных заболеваний, гинекологических заболеваний, нарушений обмена веществ. Она дала хорошие результаты при лечении ряда болезней - остеохондроза позвоночника, псориаза, нейродермита, ревматоидного артрита, деформирующего остеоартроза, болезни Бехтерева, эндометриоза, миомы матки, некоторых форм бесплодия, сахарного диабета, заболеваний щитовидной железы, ожирения и др. Радонопрофилактика предполагает ежегодное применение курса радонотерапии в целях общего оздоровления, повышения противоинфекционного и противоопухолевого иммунитета. Радонотерапия нашла применение для лечения вибрационной болезни. Радон действует на нервную систему и способствует снятию стрессов.

Радонотерапия в настоящее время является эффективной альтернативой лечению нестероидными противовоспалительными препаратами. Это доказано эмпирическим опытом применения радоновых ванн и ингаляционной терапии в радоновых штольнях, а также результатами клинических исследований. Отрицательного воздействия радона на здоровье пациентов в ходе радонотерапии не обнаружено.

На мировых курортах применяют следующие виды терапии радоном:

1. **Радоновые ванны.**
2. **Радоновые орошения** влагалищные при заболеваниях женских половых органов. Для лечения больных хроническим простатитом применяют микроклизмы и орошение через прямую кишку.
3. **Питьевое лечение радоновыми водами.**
4. **Радоновые штольни.** Причислить этот вид терапии к ингаляционной было бы ошибочным, поскольку радон в этом случае поступает не только трансальвеолярно с вдыхаемым воздухом, но и транскутанно, осажаясь на коже. Радоновая терапия в штольнях оказывает противовоспалительное, обезболивающее, десенсибилизирующее, противоаллергическое действие, благотворное влияние на состояние сердечнососудистой, нервной и эндокринной систем, его иммунных свойств, обмен веществ.
5. **Сухие радоновые ванны** - воздушно-радоновая ванна - автоматизированная установка для проведения воздушных лечебных процедур радонотерапии с заданной температурой и содержанием радона (10-40 нКи/л). Воздушно-радоновые ванны применяют для реабилитации больных, перенесших инфаркт миокарда, операцию на сердце, имеющих другие тяжелые заболевания, при которых противопоказаны ванны с радоновыми водами, как более нагруженные для сердечнососудистой системы.

6. **Местное применение радономасляных препаратов** на базе концентратов радона-222, Радономасляные препараты используют в комплексных программах медицинской реабилитации больных с дегенеративно-дистрофическими поражениями позвоночника и суставов.

7. **Radon-Dunstabad** – уникальная процедура радонотерапии на австрийском курорте Бад Гастайн. Радоносодержащий пар поступает из глубины горы в специальные высокие ванны и воздействует на кожу. Dunstabad обладает всеми эффектами радоновых ванн, но, так же как и сухие углекислые ванны, менее нагрузочна и потому может применяться при противопоказаниях для бальнеотерапии.

8. **Брахирадиумтерапия** — лечение «яхимовскими коробочками». Этот уникальный метод, применяемый только в Яхимове с 1910, основан на использовании микродоз гамма-излучения в более продолжительном интервале времени, как сильное противовоспалительное, обезболивающее, тонизирующее средство по строгому назначению врача и на основе лабораторного исследования. Детям до 18 лет процедуры противопоказаны.

Можно говорить о двух путях действия радона - нервно-рефлекторном, через нервные окончания кожи, и гуморальном — проникновение радона с током крови и лимфы в подкожно-жировую клетчатку и другие органы и ткани. Через 2,5 часа после радоновой процедуры радон полностью выводится из организма, а еще через два часа исчезают дочерние продукты. На протяжении нескольких часов после радоновой ванны в коже и в меньшей мере в других органах и тканях в результате альфа-облучения возникает состояние ионизации тканевой жидкости, которая изменяет направленность и интенсивность биохимических процессов, что служит пусковым механизмом восстановления нарушенных функций органов и тканей человека.

Радоновые ванны улучшают микроциркуляцию в коже, нормализуют работу сердца, улучшая сократительную функцию миокарда и нормализуя частоту сердечных сокращений; выравнивают артериальное давление; оказывают выраженное седативное действие на центральную нервную систему и анальгезирующее на периферическую; повышают иммунокомпетентность, снижая специфическую и повышая неспецифическую реактивность организма; оказывают противовоспалительное действие; нормализуют морфологический состав и свертываемость крови; стимулируют процессы регенерации тканей; оказывают нормализующее действие на основной обмен, на углеводный, минеральный, холестеринный и водный обмен. Успешное применение радоновых ванн при ревматоидном артрите, системной склеродермии, а также у больных бронхиальной астмой свидетельствует о том, что имеет место не только влияние на гуморальные, но и иммунные показатели.

Радонотерапия в виде ванн и орошений широко вошла в практику санаторно-курортного лечения гинекологических заболеваний с хорошим лечебным эффектом, который составляет конкуренцию хирургическому методу лечения.

Особенно осторожным при выборе радонотерапии для лечения сопутствующих заболеваний (костно-мышечной системы, периферической нервной системы) следует быть в тех ситуациях, когда наблюдается снижение резервов функционирования щитовидной железы. При лечении радоновыми ваннами больных в начальной стадии диабета улучшается функция поджелудочной железы (нормализуется уровень сахара и инсулина в крови).

При питье радоновой воды у больных подагрой наблюдается улучшение обмена мочевой кислоты, из-за нормализации под действием радоновых процедур функции печени. Питьевое применение радоновых вод стимулирует моторную и секреторную функции желудка и кишечника, экскреторную функцию печени и поджелудочной железы и их кровоснабжение. Ускоряются репаративные процессы в слизистой оболочке желудка после оперативных вмешательств и при язве желудка после питьевого применения радоновой воды. Радоновые воды оказывают болеутоляющее действие, улучшают обменные процессы, усиливают двигательную функцию гладкой мускулатуры мочевыводящих путей, желудка, кишечника. Искусственные радоновые воды применяются наряду с природными радоновыми водами, имеющими многокомпонентный состав. При лечении искусственно приготовленными радоновыми водами с уровнем радиоактивности, подобной естественным водам, получен терапевтический эффект, сравнимый с результатами курортного лечения. Появились новые радоновые процедуры (питье радоновой воды, орошения, микроклизмы, свечи, мази, аппликации), стало возможным дозировать активность радона для каждого пациента с учетом вида заболевания и особенностей его организма. Недостатком искусственно приготовленной радоновой воды является отсутствие возможности воссоздать уникальный природный комплекс радоновой воды, характеризующийся сложнейшей системой связей в виде взаимодействия компонентов минеральной составляющей воды с радоном и его дочерними продуктами.

За сто лет применения радона и радоновых вод в медицине накоплен большой материал, подтверждающий несомненную пользу применения радоновых вод, благодаря этому с каждым годом расширяются показания к радонотерапии. Радоновая терапия показана при многих заболеваниях: болезни

нервной системы (центральной и периферической, функциональные и органические заболевания); гинекологические заболевания на фоне гиперэстрогении и нейроэндокринных нарушений (воспалительные и невоспалительные, фибромиомы, эндометриозы, бесплодие, климактерические синдромы и др.); заболевания почек, мочевыводящих путей; болезни эндокриной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (зобная болезнь с гипертиреозом, сахарный диабет, ожирение и др.); болезни кожи и подкожной клетчатки (хронические экземы, нейродермиты, псориаз, склеродермия и др.); болезни системы кровообращения (ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия, облитерирующий эндартериит, тромбангиты, тромбофлебиты и др.); болезни костно-мышечной системы (остеохондрозы, ревматоидный артрит и др.); заболевания органов дыхания верхних дыхательных путей, хроническая обструктивная болезнь легких, воспалительные неспецифические заболевания органов дыхания, аллергические заболевания – бронхиальная астма; воспалительные заболевания печени, желчных путей и поджелудочной железы.

Противопоказания к радоновым ваннам и другим методам радонотерапии: беременность, выраженная лейкопения, все стадии лучевой болезни, гипотиреоз, гипоэстрогения, лица, по характеру профессии длительно пребывающие в сфере действия радиоактивного излучения.

Радон безопасен для пациентов, чего нельзя сказать об обслуживающем персонале. Следует помнить, что радон-222 – опасный радионуклид, он относится к группе А токсичности, т.е. к группе самых опасных для здоровья элементов. При подготовке искусственных радоновых ванн и смесей радон-воздух, медперсоналу приходится иметь дело с препаратами радия-радона достаточно активными. Поэтому, создание простой и удобной аппаратуры (например, мембранной) для наработки радоновых препаратов медицинского назначения представляется актуальным.

*_*_*

Таким образом, смеси газов нашли широкое распространение в современной медицине. При этом, однако, возникли некоторые трудности по подготовке, применению и дальнейшей переработке этих смесей. Можно ожидать, что возможности, которыми обладает мембранная технология в области разделения газовых смесей, окажутся полезными для дальнейшего распространения специальных газовых смесей в медицине. Демонстрация перспектив внедрения мембранной технологии в различные сферы медицины – одна из задач настоящей работы.