

Бессмертие под газом

Инженер-исследователь
П.В.Щербаков,
доктор медицинских наук
В.И.Тельпухов,
Московская медицинская
академия им. И.М.Сеченова

В 1701 году голландский ученый-самоучка А. ван Левенгук случайно обнаружил, что микроскопические черви — красные коловратки способны возвращаться к активной жизнедеятельности после высушивания. С тех пор вот уже свыше 300 лет научный мир спорит, возможно ли перевести человека в состояние скрытой жизни и обратно. Борьба шла с переменным успехом, побеждала то одна, то другая точка зрения.

В 1766 году англичанин Дж. Хантер выдвинул странную идею: «Если бы человек захотел посвятить последние десять лет своей жизни чередованию сна и активности, то его жизнь могла бы продлиться до тысячи лет — при размораживании через каждые сто лет на один год он мог бы узнавать, что произошло за то время, когда он был безжизненной ледяной сосулькой». С современной биохимической точки зрения эта идея не так уж нелепа. При охлаждении скорость почти всех химических реакций резко снижается (примерно в два-три раза на каждые 10°C), уменьшается также интенсивность обмена веществ. А при замораживании организма метаболизм стремится к полной остановке. Если нет химических и биохимических реакций, можно ожидать, что не будет и распада молекул, клеток, тканей, всего организма — биологическое время приостановится, и старость отступит. Так Хантер, сам того не ведая, задал основное направление консервации живых объектов — их замораживание. Именно оно, а не высушивание через много лет после его смерти стало главным в работе биологов и врачей.

Однако на пути к вечности стоит известный еще со школьной скамьи фазовый переход «вода-лед». Всему живому он несет разрушение и смерть. Организмы в основе своей состоят из воды, а она, замерзая, увеличивается в объеме почти на 10%. При этом образуются и растут кристаллы обычного льда. Их острые края врезаются в клеточные структуры, необратимо их повреждая. Кроме того, при замерзании воды концентрируется внутриклеточное содержимое, в том числе и соли. По этой при-

чине изменяется физико-химическое окружение макромолекул, в том числе белков, и они денатурируют — это второй по значимости повреждающий фактор после механического.

И все же эта преграда не абсолютна. В природе многие растения и животные, вмерзающие в ил или в лед, остаются живы. Способность выживать после охлаждения до ледяного состояния — это выработанный в ходе эволюции механизм, позволяющий сохранять жизнь в неблагоприятных сезонных условиях.

В 1891 году немецкий ученый В.Прейер предложил называть обратимую остановку жизни термином «анабиоз» (от греческого *ана* — обратно и *биос* — жизнь, то есть возвращение к жизни, оживление). Это понятие охватывает следующие состояния: анабиоз при высушивании (с ним тесно связан осмотический анабиоз) и при замерзании (криоанабиоз, от греческого *кρυος* — холод). В 2003 году был признан также химический анабиоз, открытый В.Д.Розвадовским и его соавторами.

Сбудется ли пророчество Хантера?

В 1897 году русский физик-экспериментатор П.И.Бахметьев, заинтересовшись скрытой жизнью, выступил с грандиозными планами во что бы то ни стало добиться анабиотического состояния у человека. И уже в 1912 году он начал работать с млекопитающими. Бахметьев провел успешные опыты с летучими мышами: охлаждал их до - 4°C, потом согревал и убеждался, что зверьки оставались живы. К сожалению, в 1913 году он скончался. Тогда же, в 1912 году, русский ботаник Н.А.Максимов впервые в мире открыл криозащитное действие глицерина на растительные ткани. Как жаль, что не пересеклись многообещающие научные пути этих двух замечательных ученых!

Вещества, предохраняющие клетки от разрушения льдом, называются криопротекторами. Сотни таких соединений найдены в природе или синтезированы химиками. Стало ясно, что

все живое, без вреда для себя вмерзающее в лед, спасается благодаря тому, что перед наступлением холодов накапливает криопротекторы. Эти вещества не исключают внутриклеточное образование льда, но они, связывая воду, делают рост кристаллов льда безопасным и сводят повреждение к минимуму.

В 1937 году на криозащитные свойства глицерина обратили внимание А.Д.Бернштейн и В.И.Петропавловский, применив его для замораживания до - 21°C спермы сельскохозяйственных животных. Дж.Ростан в 1946 году также обнаружил криопротекторное действие глицерина на клетки животных, продемонстрировав возможность хранения спермы лягушки при - 4-6°C в среде, содержащей 10-20% глицерина. В 1947 году советский исследователь И.И.Соколовская впервые в мире получила потомство от крольчихи после оплодотворения глубокозамороженной спермой.

Но все эти сенсационные результаты остались незамеченными мировой наукой, и только удачные опыты по глубокому замораживанию спермиев петуха, проведенные и широко разрекламированные англичанами К.Полджем и О.Смитом в 1949 году, привлекли внимание ученых всего мира.

Эти и другие изыскания способов защиты биологических объектов от холодовых повреждений в конце концов сформировали новый раздел биологии — криобиологию, то есть науку о жизни при охлаждении.

Постепенно энтузиасты этой науки уверовали в окончательную победу над смертью. Появились даже проекты, развивающие идею Хантера, — как на основе замораживания организма сделать скачок к бессмертию.

Ледяная машина времени?

С 1964 года во всем мире обсуждается революционная идея — криоконсервация в жидком азоте тел умерших людей. Ее предложил американский физик Р.Эттингджер. Изначально он ориентировался скорее на то, чтобы произвести сенсацию. Со временем его идея потеряла значительную



Группа академика АМН В.В.Кованова во время эксперимента (слева направо): И.А.Башилов, П.В.Щербаков, С.О.Тренин, Н.И.Иванова



часть сторонников, но их поредевшая армия по-прежнему настойчиво предлагает сохранять покойников с помощью холода — чтобы в будущем их оживили наши всемогущие потомки. Неисправимые оптимисты считают, что бурно развивающаяся цивилизация достигнет к тому времени такого высокого уровня, что подобная фантастическая манипуляция станет реальностью.

Свой вклад в это начинание внес известный писатель-фантаст А.Кларк. Будучи приверженцем идей Эттинджера, он предложил сохранять тела людей более дешевым способом — в бескрайних ледяных просторах Антарктиды.

Однако все такие проекты оказались обычной авантюрой: как станет ясно чуть ниже, они не имеют под собой ни теоретической, ни практической основы. К сожалению, и в том, и в другом случае — это всего лишь очень дорогая, весьма экзотическая похоронная услуга!

Утраченные надежды

В криобиологической практике объекты переводят в анабиоз, сохраняют их в нем и возвращают к активной жизнедеятельности при помощи двух основных методов.

Во-первых, это сверхбыстрое охлаждение для превращения внутриклеточной воды в стеклообразный, аморфный

лед, неопасный для клеточных структур. (Такой процесс называют витрификацией.) Для расконсервации объект очень быстро разогревают, чтобы перевести воду из твердого аморфного состояния сразу в жидкое, не давая ей кристаллизоваться. Этот метод годится только тогда, когда объем образцов чрезвычайно мал (например, при введении очень мелких капель клеточной суспензии непосредственно в жидкий азот), а потому он не получил широкого распространения.

Во-вторых, применение жидких криозащитных сред, включающих водные растворы криопротекторов (глицерина, диметилсульфоксида, этиленгликоля, пропиленгликоля и других). Эти среды обеспечивают так называемую мелкоструктурную кристаллизацию воды, при которой образуются мельчайшие, неопасные для клеток кристаллы льда обычного типа, переходящие в аморфное состояние при еще более низких температурах. Метод уже отработан для суспензий клеток.

Такую криоконсервацию замораживанием (обычно до температур жидкого азота) применяют повсеместно, в разных лабораториях и клиниках мира для эритроцитов, клеток кост-

ного мозга, сперматозоидов, эмбрионов и даже мелких фрагментов щитовидной и поджелудочной желез.

Но, несмотря на эти успехи, до сих пор никому не удается создать эффективную методику криоконсервации относительно крупных объектов (например, цельных органов животных и человека), при которой они оставались бы жизнеспособными. Что же тогда говорить о сохранении в замороженном состоянии целостного организма млекопитающего? Открытие все новых и новых жидких криопротекторов так и не привело к успеху, но исследования в этом направлении продолжают с упорством, достойным сожаления.

В чем причина неудач? В том, что криопротекторы неравномерно распределяются в объеме любого крупного биологического объекта и поэтому плохо защищают от повреждения его клетки при замораживании-оттаивании. Кроме того, в объекте создаются большие перепады температуры и давления, а наступающая кристаллизация воды распространяется от поверхности к центру неравномерно, что ведет к растрескиванию ранее заморозивших слоев и другим нарушениям.

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Разрешим ли назревший в криобиологии кризис? Есть ли у людей шанс когда-нибудь увидеть своих далеких потомков? Попытаемся ответить на эти вопросы.

Антарктический криостаз

Считается, что при замораживании свободная вода клеток иммобилизуется в виде обычного или стеклообразного льда, после чего она не может участвовать в биохимических взаимодействиях.

В научном мире утвердилось мнение, что долго хранить замороженные биологические объекты в жизнеспособном состоянии, то есть при полном анабиозе, возможно только при температуре не выше -196°C . Тогда практически вся вода в клетках переходит в твердое состояние, прекращаются ферментативная активность и процессы рекристаллизации.

Однако в окружающей природе не все подчинено этой доктрине. Так, в толще антарктических ледников и в погребенных почвах вечной мерзлоты найдены жизнеспособные микроорганизмы, несколько миллионов лет пребывавшие при температурах всего -55°C и выше. Эти факты нельзя объяснить с позиций общепринятых представлений об анабиозе. Не подходит и другое объяснение — что бактерии перешли к анабиозу в результате сочетания их высушивания и замораживания, когда воздушные потоки несли их в Антарктику. Потеряв воду на больших высотах в разреженной атмосфере Земли, при снижении они должны были снова накопить ее благодаря адсорбции из воздуха — у снежной поверхности ледового континента всегда есть достаточное для этого количество влаги. При последующей консервации микроорганизмов в условиях недостаточно низких температур она должна была приводить к распаду веществ в клетках. Но этого не происходит, поскольку действует еще один неучтенный фактор.

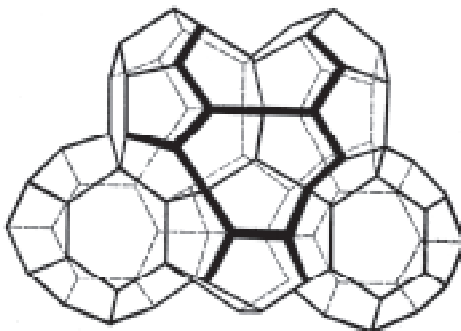
Вместо льда — гидраты газов

Группа академика АМН СССР В.В.Кованова при Всесоюзном научном центре хирургии (Москва) еще в конце 1980-х годов обнаружила и теоретически обосновала неизвестную ранее закономерность. Суть ее в том, что биологические объекты, насыщенные тяжелыми инертными газами — постоянными составляющими атмосферы (аргоном, криптоном, ксеноном) — в условиях низких температур и повышенного давления переходят к анабиозу. При этом вообще не нужны ника-

кие криозащитные среды. А в январе нынешнего года способ криоконсервации органов и тканей, основанный на этой находке, был зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ.

Явление, лежащее в основе данной закономерности, известно давно. Еще в 1896 году французский физик Р.Вайяр получил кристаллическое соединение аргона с водой состава $\text{Ar}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, напоминающее спрессованный снег. А в 1925 году Р.Фаркрану удалось синтезировать аналогичные соединения криптона и ксенона таким же способом — при контакте этих газов со льдом под давлением.

Многие газы, например азот и кислород, и жидкости могут образовывать гидраты. Они имеют кристаллическую структуру, соответственно I или II. В первом случае на 46 молекул воды имеется 6 полостей диаметром 0,59 нм и 2 полости диаметром 0,52 нм (рис. 1). Для структуры II на 136



1
Модель ячейки газового гидрата

молекул воды приходится 8 больших полостей диаметром 0,69 нм и 16 малых полостей диаметром 0,48 нм. Низкая температура и повышенное давление удерживают молекулы-гости внутри этих полостей. Эти вещества представляют собой так называемые клатратные соединения (от латинского *clatratus* — огороженный, замкнутый). Наиболее легкие газы (водород, гелий, неон), если они находятся в смеси с другими гидратообразующими газами, тоже могут занимать некоторое количество полостей в этих гидратах.

Гидраты $\text{Ar}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Kr}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Xe}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ образуются уже при действии соответствующих сжатых газов на охлажденную воду, и чем выше их молекулярные веса, тем они устойчивее.

В образовании гидратов может участвовать и клеточная вода, которая таким образом выводится из метаболизма.

Впервые к изучению клатратов инертных газов еще в 1936 году приступил советский химик Б.А.Никитин. В 1941 году другой наш ученый,

Н.В.Лазарев, предсказал наркотические свойства криптона и ксенона и показал, что при небольших давлениях в среде инертных газов задерживаются скисание молока и гниение мяса. А знаменитый американский ученый Л.Полинг в 1961 году разработал новую молекулярную теорию наркоза, предположив, что образующиеся в водной среде организма микрокристаллогидраты инертных газов тормозят не только биоэлектрическую активность, но и клеточный метаболизм. Эти наработки привлекли внимание биологов и врачей всего мира, в том числе и академика В.И.Шумакова. Возможность использовать инертные газы под давлением для консервации органов и тканей животных и человека при положительных температурах (для их последующей трансплантации) представлялась весьма заманчивой.

Микрофрагменты твердой фазы в виде клатратов газов, появляющиеся по всему объему консервируемого объекта, оказались неопасными для клеточных структур — по всей видимости, из-за того, что они более рыхлые, чем обычный лед, содержат сравнительно большие пустоты и легко вписываются во внутриклеточную архитектуру. К сожалению, добиться надежной и продолжительной консервации таким образом не удалось, поскольку клеточный метаболизм при температурах выше 0°C снижался недостаточно.

Как ни странно, до нас никто не проводил подобные исследования в диапазоне низких температур (от 0 до -196°C): вероятно, ученые опасались повреждения клеток. При этом было известно, что гидраты инертных газов стабильны только при двух условиях: отрицательных температурах и повышенном давлении.

Клатратный анабиоз

Как уже отмечалось, чтобы добиться настоящего, полного анабиоза с помощью холода, необходимо замораживание биологического объекта до температуры жидкого азота. Наш научный коллектив опроверг эту установку.

Теория клатратов позволяет объяснить, как микроорганизмы сохраняются в леднике Антарктиды и в вечной мерзлоте на протяжении многих миллионов лет при температуре -55°C и выше. Мы заметили, что распределение бактерий по горизонтам ледника, описанное С.С.Абызовым и его коллегами из Института микробиологии РАН в начале 1980-х годов, соответствует другому распределению — гидратов постоянных газовых компонен-



тов атмосферного воздуха. Так, С.Л.Миллер из Калифорнийского университета первым обнаружил во льду Антарктиды залежи гидратов газов и предложил для них термин «клатратный лед». Мы, в свою очередь, предположили, что составляющие воздуха (азот, кислород, аргон, криптон, ксенон) образуют микрокристаллогидраты и в бактериях. Они служат зародышами, инициирующими кристаллизацию значительной части клеточной воды, в обычных условиях не замерзающей при таких недостаточно низких температурах.

Эти наблюдения позволили нам сделать вывод, что клатратный анабиоз существует в природе и может проявляться при температурах значительно выше -196°C , в том числе и во льдах планеты. Идея Эттинджера становится вполне выполнимой, если использовать инертные газы. Стоит только восхищаться прозорливостью Артура Кларка, предложившего для криоконсервации ледяные поля Антарктиды! Открытие группы академика Кованова могло бы объединить эти два предложения и придать им необходимый импульс.

Теорией клатратов легко объясняются и другие, до сих пор малопонятные факты: наркотическое действие азота на организм человека при повышенном давлении (например, у водолазов) и длительные сроки надежного сохранения биологических объектов в условиях пониженных температур (несколько выше 0°C) в кислородной среде под давлением. Важно отметить, что все газовые гидраты имеют одинаковую кристаллическую решетку и, следовательно, физико-химические процессы в биологических объектах развиваются, по всей видимости, одинаково.

Обоснование бессмертия

Если животному вместе с вдыхаемым воздухом подавать инертные газы, то они с током крови легко достигают самых удаленных клеток организма, а благодаря хорошей диффузии легко проникают через их мембраны. Там инертные газы не подвергаются никакой биотрансформации, а когда надо, быстро выводятся из тела в неизменном виде через легкие. Организм остается насыщенным инертными газами до тех пор, пока они поступают в него.

Физиологически индифферентные инертные газы, как мы уже писали, обладают консервирующим действием под давлением уже при положительной температуре. Это объясняется образованием микрокристаллогидратов указанных газов, понижающих

клеточный метаболизм. При снятии давления газа в тканях организма сразу происходит диссоциация кристаллогидратов.

Образование кристаллогидратов инертных газов в биологическом объекте во многом сходно с процессами, наблюдаемыми в нем при замораживании, но микрофрагменты твердой фазы появляются одновременно по всему объему. Мы предполагаем, что от этих первоначально возникших мельчайших зародышей кристаллизация при дальнейшем охлаждении распространяется на остальную массу раствора.

А уже при низких температурах молекулы основных компонентов атмосферного воздуха (азота, кислорода, аргона, криптона, ксенона) образуют стабильное клатратное соединение, когда давление превышает некоторую критическую величину. Так, для получения при 0°C гидрата ксенона достаточно приложить давление 1,5 атм, для гидрата криптона – 14,5 атм, для гидрата аргона – 105 атм. Но уже при $-3,4^{\circ}\text{C}$ для кристаллогидрата ксенона, при $-27,8^{\circ}\text{C}$ для кристаллогидрата криптона, при $-42,8^{\circ}\text{C}$ для кристаллогидрата аргона давление диссоциации соответствует нормальному атмосферному. К сожалению, при отрицательных температурах и повышенном давлении системы, состоящие из воды, а также из трех и более газовых компонент (например, смеси из тяжелых инертных газов), физикохимиками не изучены.

Так, при очень низких температурах аргон, криптон, ксенон существуют в виде самостоятельных молекулярных кристаллов, по всей видимости неопасных для клеточных структур. Например, аргон замерзает при -189°C , образуя плотноупакованную кристаллическую структуру. Температура плавления криптона равна $-156,6^{\circ}\text{C}$, ксенона $-111,5^{\circ}\text{C}$. Из этого следует, что биологические объекты можно сохранять даже в открытом космосе. Известно, что клатраты различных газов могут существовать и там (в шапках Марса, кольце Сатурна, кометах и т. д.). При низких температурах инертные газы образуют и совместные

кристаллы. Кроме того, при температуре -160°C возникает стеклообразный лед, также неопасный для клеток.

Благодаря вышеперечисленным процессам в биологическом объекте происходит неупорядоченное кристаллообразование. По всей видимости, оно мешает правильному росту кристаллов обычного льда. И это, как показывает многолетняя криобиологическая практика, благотворно сказывается на жизнеспособности замораживаемых объектов.

При нагревании кристаллы аргона, криптона, ксенона распадаются, а при взаимодействии молекул тяжелых инертных газов со льдом образуются гидраты состава $\text{Ar}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Kr}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Xe}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, которые, в свою очередь, разлагаются при температуре выше критической для соответствующего соединения.

Кроме инертных газов для целей криоконсервации, по нашему мнению, представляют интерес и другие постоянные составляющие атмосферного воздуха, также способные к образованию клатратов, — кислород и азот. Но для образования стабильных клатратов этих газов необходимы значительно более высокие давления (наибольшее — для азота).

Особенно перспективен кислород. Заклучив его в клатраты под высоким давлением (сотни атмосфер) и при низких температурах (десятки градусов), затем можно снизить давление до нормального и хранить получившиеся кристаллы без всяких мер предосторожности при температуре около нуля. Экспериментально было доказано, что сотни атмосфер выдерживают многие животные и растения. А это значит, что перед криобиологией открываются широкие возможности — хранить биоматериалы, «обработанные» низкой температурой и высоким давлением, даже в леднике или в обычном бытовом холодильнике.

Мы считаем, что к перечисленным газам будет полезно добавить пропан и углекислый газ. Они также способны к клатратообразованию, к тому же достаточно опробованы на организме млекопитающего.

Преддверие анабиоза

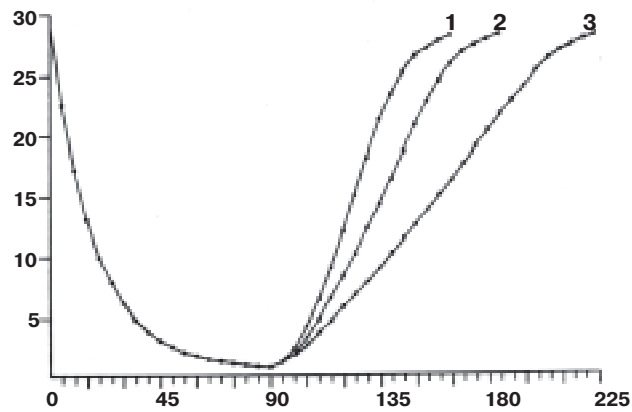
Однако на пути к криоанабиозу высоко-развитого организма лежит не менее сложный этап, чем само замораживание, — это гипотермия (от греческого гипо — под, низкое и термос — тепло, теплота), или охлаждение. Гипотермией принято называть охлаждение любого биологического объекта в положительных областях температур вплоть до 0°C. И хотя лед в клетках образуется при более низких температурах, именно 0°C — предел стремлений всех экспериментаторов, и не случайно. Например, крысы, охлажденные без термоблокаторов всего лишь до 15°C, не выживают. Сами термоблокаторы служат для подавления терморегуляции организма с основной целью — сохранить энергетические ресурсы, так необходимые для последующей реанимации млекопитающего.

Наш научный коллектив довел до нижнего предела гипотермии (0°C) высших млекопитающих (крыс) с останковкой всех жизненных функций, причем без всяких термоблокаторов. После этого все подопытные животные были оживлены — для этого подобрали оптимальную скорость согревания. Температурную кривую охлаждения-согревания животных со 100-процентным выживанием мы назвали «гипотермической ямой». Нам удалось покорить ее до самого дна (рис. 2).

Мы сумели привести крыс в состояние клинической смерти в условиях глубокой гипотермии (до 0°C), а через 95 минут оживить и обеспечить восстановление их жизненных функций. После отогревания они сперва начинали двигать головой и шеей, потом конечностями; у них появлялась дрожь, а еще чуть погодя они пытались передвигаться. У всех животных полностью восстанавливались зрачковый рефлекс и болевая реакция конечностей. Спустя 1–3 часа крысы принимали нормальную позу, а через 5–12 часов самостоятельно передвигались. Не утратили они и выработанные рефлексы. Через 2–3 месяца крысы давали здоровое потомство.

Эти опыты стали основой для работ по охлаждению животного уже до -196°C под защитой клатратов инертных газов.

Кроме главного своего назначения как «преддверия анабиоза», обратимая гипотермия целостного организма высшего млекопитающего до 0°C вместе с известными наркотическими свойствами инертных газов дает надежду наконец-то индуцировать на длительное время состояние искусственного гипобиоза, то есть снижение жизнедеятельности. Этот термин предложил в 1934 году итальянский исследователь Б.Монтероссо. А изве-



2
Температурные кривые
охлаждения — согревания
животных.
Линия 2 оптимальна
для выживания

стный специалист Н.Н.Тимофеев писал, что искусственный гипобиоз дает возможность значительно снизить интенсивность метаболизма млекопитающих (прежде всего в тканях головного мозга) — это поможет решить многие медико-биологические задачи.

Оазис бессмертия

Мы пробовали нырнуть и в анабиотическую яму: на глубину -196°C (кстати, ее дно приходится на абсолютный ноль, то есть на 0К, или -273°C), но уже под защитой клатратов.

Как следует из вышесказанного, кристаллогидраты инертных газов наиболее эффективны для консервации биологических объектов именно при температурах ниже 0°C, когда они наиболее устойчивы. А сами объекты в этих условиях, как показали наши эксперименты, остаются в жизнеспособном состоянии, то есть переходят в анабиоз.

Криоконсервацию биологических объектов в составе целого организма мы осуществляли в барокамере, сконструированной специально под размеры лабораторной крысы (рис. 3). Сначала зверька целиком охлаждали до 0°C по приведенной выше методике проточной ледяной водой, но одновременно вместе с вдыхаемым воздухом подавали и инертные газы, так что они насыщали организм и, конечно, все его составляющие: клетки, ткани, органы. Затем в барокамеру нагнетали эти же инертные газы под давлением и ступенчато охлаждали ее через поверхность жидким азотом до -196°C. Хранили замороженную крысу здесь же, в этом сосуде, целиком погруженном в жидкий азот. После отогрева животного выделенный из него объект помещали в естественные условия, и он возвращался к нормальному функционированию. Например, если сердце этой крысы пересаживали крысе-реципиенту, его сократительная активность быстро восстанавливалась.

Для криоконсервации органов таким способом не обязательно заморажи-

вать целый организм. Предварительно выделенные из него клетки, ткани, органы можно поместить в специально разработанную для этого малую барокамеру-капсулу (рис. 4) и хранить ее в сосуде Дьюара при -196°C или в морозильнике обычного холодильника при умеренно низких температурах.

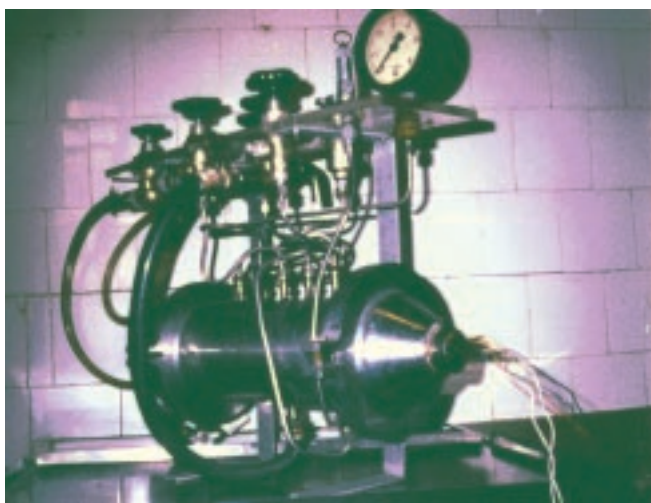
Мы согревали капсулу медленно (при комнатной температуре) или быстро (в горячем воздухе или воде). Аппарат первоначально предназначался для того, чтобы проверить саму идею: можно ли, не разрушая, замораживать биологические объекты, если помещать их при давлении в тяжелые инертные газы. В барокамере-капсуле успешно замораживали и клетки (сперматозоиды), и ткань (кровь), и органы (сердце). Эти опыты стали технической основой для разработки и изготовления барокамеры для целого животного — крысы.

Скачок через миллиум

Научное значение обнаруженной закономерности заключается в том, что удалось обосновать принципиальную возможность перевода абсолютно любого по сложности и размерам биологического объекта (пусть не покажется шуткой, даже слона — теоретически и это возможно) в криоанабиоз ранее неизвестным в биологии способом. Причем как при умеренно низких температурах, так и при ультранизких. Это коренным образом меняет сложившиеся представления о методах и средствах криозащиты биологических объектов.

Следующий этап исследований мы планируем посвятить реанимации крысы, перенесшей замораживание до -196°C. Главная проблема здесь — это закупорка сосудов животного пузырьками газов. По-видимому, придется подбирать такие условия, при которых газ будет успевать выделяться через легкие, а не образовывать пузырьки в крови.

Не слишком ли амбициозные планы? Вовсе нет. Криоанабиоз млеко-



3
Барокамера, в которой проводили опыты с криоконсервацией органов крысы инертными газами

питающего, по нашему мнению, можно осуществить уже сегодня!

Так ли это на самом деле, конечно, еще предстоит доказать. Безусловно, о наличии анабиоза у животного, замороженного по данной методике, можно будет судить только после возвращения к нормальной жизнедеятельности всего организма, а не отдельных его частей. Но тем не менее выборочное и поочередное тестирование на жизнеспособность клеток, тканей, органов, взятых уже после согревания до 0°C всей крысы, позволяет с оптимизмом отнестись к поставленному вопросу.

А что произойдет с мозгом млекопитающего при размораживании? Не будет ли он необратимо поврежден, как предсказывают нам некоторые теории анабиоза? Давайте разберемся и с этим. Как уже отмечалось, многие высокоразвитые животные (рыбы, земноводные) выживают в природе после охлаждения до ледяного состояния и не утрачивают рефлексы — это выработанный эволюцией механизм для сохранения этих организмов в холодное время года. Известный специалист в этой области А.М.Голдовский утверждал, что «способность к анабиозу представля-

ет собой неотъемлемое свойство первичной жизнеспособной структуры и достаточно лишь применить соответствующую технику, с помощью которой можно искусственно снять влияние возникших в ходе эволюции «надстроек», усложнений структуры, чтобы дать возможность проявиться этому свойству и использовать его» (1986). Таким образом, мы уверены, что здесь нет никакой опасности для высшей нервной деятельности млекопитающего, она просто надуманна.

Средство от проблем

Как представляется, открытие клатратного анабиоза позволяет решить несколько проблем и ответить на еще не ответственные вопросы.

Во-первых, изменить сложившиеся в криобиологии представления о криопротекторах. Указанные выше клатратные соединения азота, кислорода, аргона, криптона, ксенона (а также некоторые клатраты смешанного типа) по аналогии с обычными жидкими криопротекторами следовало бы отнести к новому классу защитных веществ — газовым клатратным криопротекторам. Они более эффективны, чем обычные жидкие, и позволяют работать с лю-

быми биологическими объектами, даже крупными, не только в диапазоне низких температур, но и при ультранизких температурах.

Во-вторых, объяснить многочисленные на сегодня гипотезы первичного заселения Земли из космоса. Коль скоро живые организмы могут сохранять жизнеспособность в космических условиях, предположение, что наша планета была осеменена формами жизни, занесенными из других миров Вселенной, не кажется таким уж невероятным.

В-третьих, оно может стать перспективной основой для новейшего научно-практического направления — крионики, рассматривающей возможности радикального продления человеческой жизни.

Хотелось бы верить, что кризис в криобиологии миновал, и клатратный анабиоз поможет решить накопившиеся в ней проблемы. Быть может, подобно антарктическим микроорганизмам, человеческие индивиды совершат скачок через миллиеум, преодолеют эту необозримую для человеческого восприятия вечность.

Что еще можно прочитать об анабиозе и гипобиозе

Шмидт П.Ю. Анабиоз. М.: Изд-во АН СССР, 1948.

Голдовский А.М. Анабиоз и его практическое значение. Л.: Наука, 1986.

Ушатинская Р.С. Скрытая жизнь и анабиоз. М.: Наука, 1990.

Тимофеев Н.Н. Искусственный гипобиоз. М.: Медицина, 1983.

Цель — химический анабиоз, или Вторая жизнь формалина. Наука и жизнь, 1985, № 7.

Адрес для переписки:

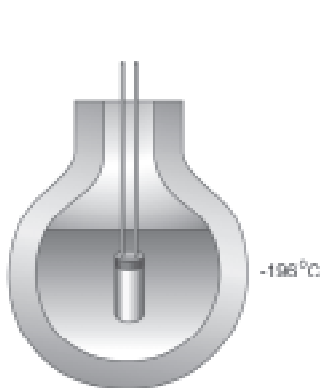
telpuhov@mail.ru,
Тельпухову Владимиру
Ивановичу



В морозильном шкафу



В сосуде Дьюара



4

Барокамера-капсула, предназначенная для криоконсервации небольших объектов

