

Федеральное агентство по образованию
Московский авиационный институт
(Государственный технический университет)

"УТВЕРЖДАЮ"

Зам. проректора по НИЧ

Климкин В.Ф.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

«СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ В КРИОГЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАМЕРАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ КРИОТЕРАПИИ»

Анализ криокамер «Криомед-20/150-01» и «Каэкт-01-Крион»

Декан факультета №2

Агульник А.Б.

Заведующий кафедрой 204

Мякочин А.С.

Руководитель работы

Фирсов В.П.

МОСКВА 2009

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы

Доцент

Н.с.

Three handwritten signatures in blue ink are positioned between the text on the left and the names on the right. The top signature is a simple, stylized 'V'. The middle signature is more complex, with several loops and a vertical line. The bottom signature is also complex, with multiple loops and a vertical line.

В.П. Фирсов

А.С. Неверов

И.В. Антюхов

РЕФЕРАТ

Отчет с. 27, 1 кн., рис. 25, таблиц -, источников -

КРИОКАМЕРА, ТЕМПЕРАТУРА, СКОРОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ

В работе представлены результаты сравнительного экспериментального исследования температурных полей в криогенных медицинских камерах (криокамерах) различных конструкций.

Криокамера «Криомед 20/150-01» эксплуатируется медицинским центром «Мед-Крионика» г. Москва.

Криокамера «Казкт-01-Крион» - спортивно-техническим, восстановительным центром МЭИ г. Москва.

В результате обработки опытных данных оценивалась равномерность изменения температуры по всему объёму криокамер и скорости изменения температуры среды и поверхности тела пациента. Сравнивались показания температур штатных датчиков криокамер и средовых термопар установленной системы измерения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	7
2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	14
2.1. Результаты измерений в криокамере «Криомед-20/150-01»	15
2.2. Результаты измерений в криокамере «Каэкт-01-Крион»	20
3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
РЕКОМЕНДАЦИИ	27

ВВЕДЕНИЕ

В работе представлены результаты сравнительного экспериментального исследования температурных полей в криогенных медицинских камерах (криокамерах) различных конструкций.

В криокамере «Криомед-20/150-01» дренирование среды из криокамеры обеспечивается через специальный дренажный клапан в атмосферу, расположенный в потолке процедурной кабины. В процедурной кабине пациент полностью находится в объёме камеры за исключением лица, размещённого в специальном иллюминаторе. Герметизация иллюминатора камеры обеспечивается плотным прижатием контура лица пациента к мягкому уплотнению. Сеанс криотерапии сопровождается незначительным превышением давления относительно давления окружающей среды.

Мониторирование температуры газообразной среды осуществляется тремя штатными датчиками. Два датчика расположены непосредственно в процедурной кабине. Третий – контролирует температуру на выходе из теплообменника. По ТУ температура на выходе из теплообменника в криокамере «Криомед-20/150-01» должна быть в пределах от -193 до -195°C . Показания датчиков выводятся на дисплей пульта управления.

В криокамере «Казкт-01-Крион» (криобассейн) с открытым верхом дренирование обеспечивается частично за счет сбрасывания избытка охлажденного газа, перетекающего через верхний обрез процедурной кабины, и частично отводится через специальные дренирующие окна, расположенные выше подающих сопел. В криобассейне пациент расположен по обрезу процедурной кабины на уровне плечевого пояса.

Мониторирование температуры газообразной среды в процедурной кабине не проводится (отсутствуют датчики). Показания на дисплее обеспечиваются штатным датчиком, расположенным за соплами в криогенном газовом потоке подводящей магистрали.

При проведении исследований использовались рекомендованные производителем режимные параметры процедур.

Эксперименты проводились в двух режимах работы криогенных медицинских камер:

- без пациента при максимальной продолжительности сеанса до 200с;
- с пациентом при ограниченной продолжительности сеанса до 180с.

В результате обработки опытных данных оценивалась равномерность изменения температуры по всему объёму криокамер и скорости изменения температуры среды и поверхности тела пациента. Сравнивались показания температур штатных датчиков и средовых термопар системы измерения.

Результаты исследования могут быть использованы для увеличения эффективности криотерапии при лечении различных заболеваний и совершенствовании конструкций современных криогенных медицинских камер.

1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В процессе экспериментального исследования проводилась регистрация температуры среды в криокамерах, поверхностной температуры кожи пациента, температура среды с использованием штатных датчиков температуры. До и после завершения сеанса криотерапии проводились контрольные точечные измерения поверхностной температуры тела пациента с помощью инфракрасного термометра DT-882 (СЕМ).

Опыты для каждой криокамеры проводились в два этапа. На первом этапе проводилось измерение температуры в объёме криокамеры без пациента, а на втором с пациентом.

Регистрация температуры проводилась с использованием автоматизированного комплекса, созданного в МАИ на базе интерфейса VME и переносного ПК. На рис.1 представлена блок – схема измерительного комплекса. Аналоговый сигнал с термопар после усилителей – нормализаторов поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП РВ ADC-3 а затем, с помощью контроллера записывается в ПК (ноутбук). Частота опроса одного канала задавалась от 20 мс до 1 с.

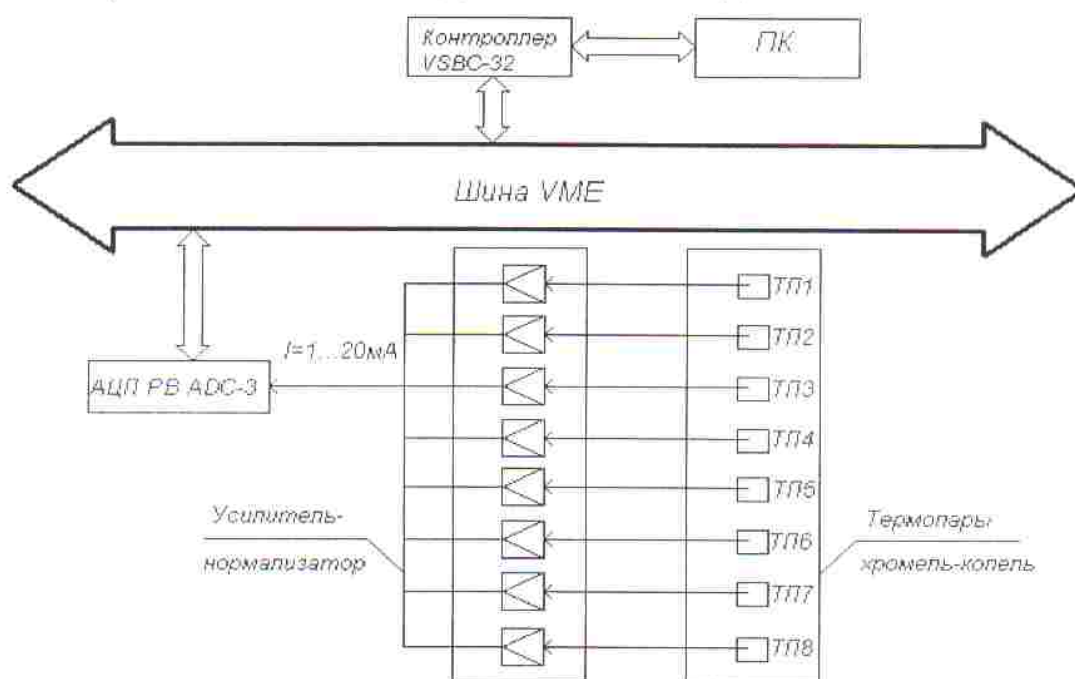


Рис. 1 Измерительный комплекс температурных измерений в криокамере

Для измерения температуры среды в объёме криокамеры и поверхностной температуры кожи пациента использовались 8 хромель-копелевых термопар с диаметром термоэлектродов 0.2 мм, а для сравнения результатов измерений температур и штатные термодатчики криокамер. ЭДС термопар измерялась

относительного холодного спая с температурой 0 °С. Диапазон измерений температуры от – 200 до + 40 °С. Погрешность измерения не превышала ±1 %.

На первом этапе измерение температуры среды в объёме криокамеры проводилось без пациента. Все 8 термопар устанавливались равномерно на штанге по высоте криокамеры, а затем по её диаметру. Одна из термопар закреплялась в непосредственной близости от штатного датчика температуры.

На втором этапе проводилось измерение температуры кожи пациента в шести точках и температура среды в криокамере в двух точках. Поверхностные термопары закреплялись с помощью лейкопластыря непосредственно на коже пациента, а средовые термопары измеряли температуру среды на расстоянии 40 мм от поверхности тела пациента у голени пациента и поясницы.

Погрешность измерения поверхностной температуры тела пациента включает систематическую погрешность, создаваемую технологией крепления термопар на теле пациента. Эта погрешность возникает из-за наличия слоя между телом пациента и спаем термопары в виде низкотеплопроводного адгезивного материала, что приводит к локальному нарушению конвективного взаимодействия охлаждающей среды с телом пациента. Для оценки величины систематической погрешности при завершении сеанса криотерапии в момент открытия криокамеры проводились контрольные точечные измерения температуры голени пациента с помощью инфракрасного термометра на участке, не покрытом лейкопластырем вблизи места установки термопары. Результаты контрольных измерений показали незначительную методическую погрешность выбранной технологии установки термопар на теле пациента. Таким образом, использованная методика измерения позволяет корректно проводить сравнительный анализ поверхностной температуры пациента.

На рис.2,3 представлены схемы размещения термопар в криокамере, а на рис.4, 9 фотографии термопар, установленных в криокамерах и на теле пациента.

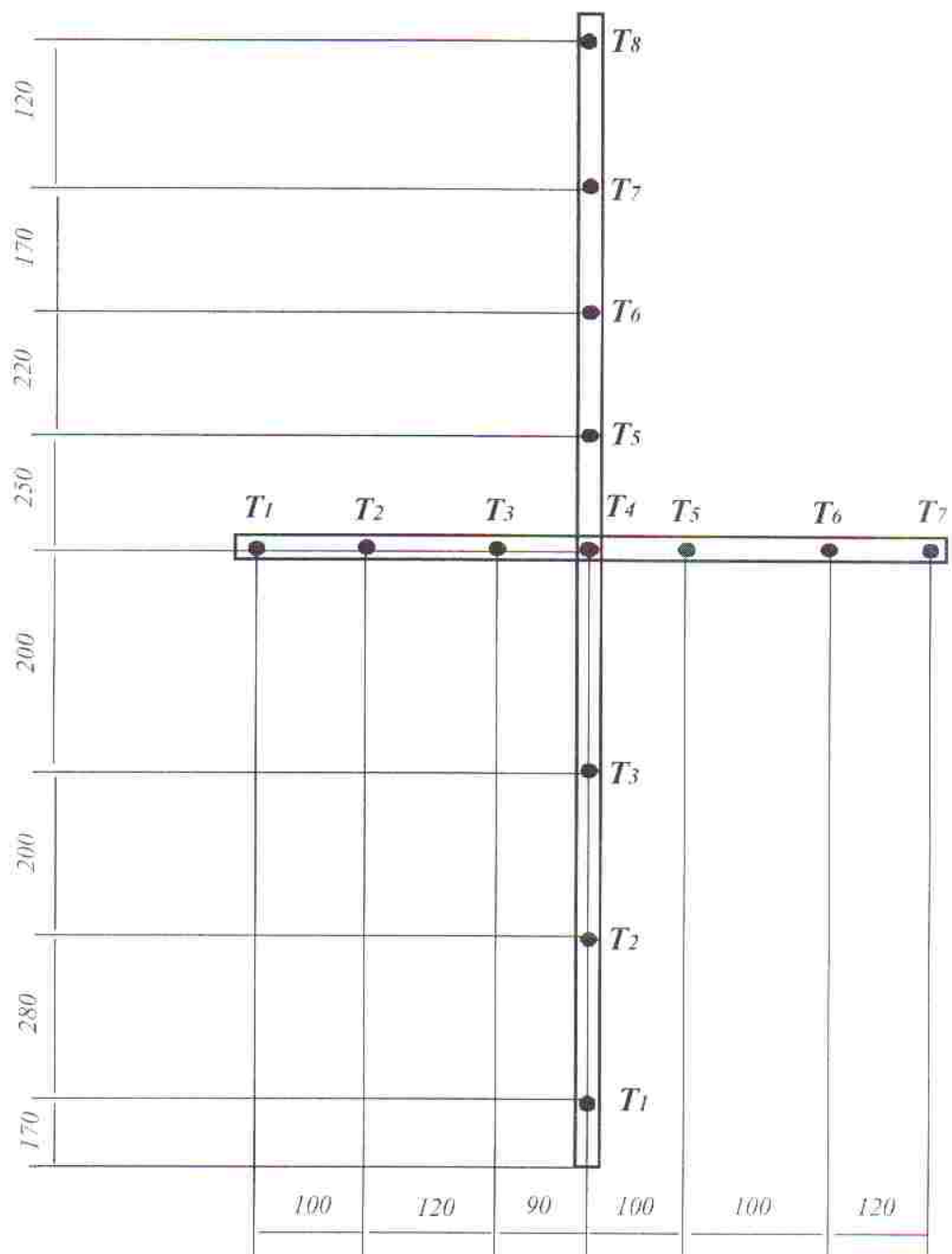


Рис. 2 Схема размещения датчиков температуры в криокамере при проведении первого этапа эксперимента (без пациента)

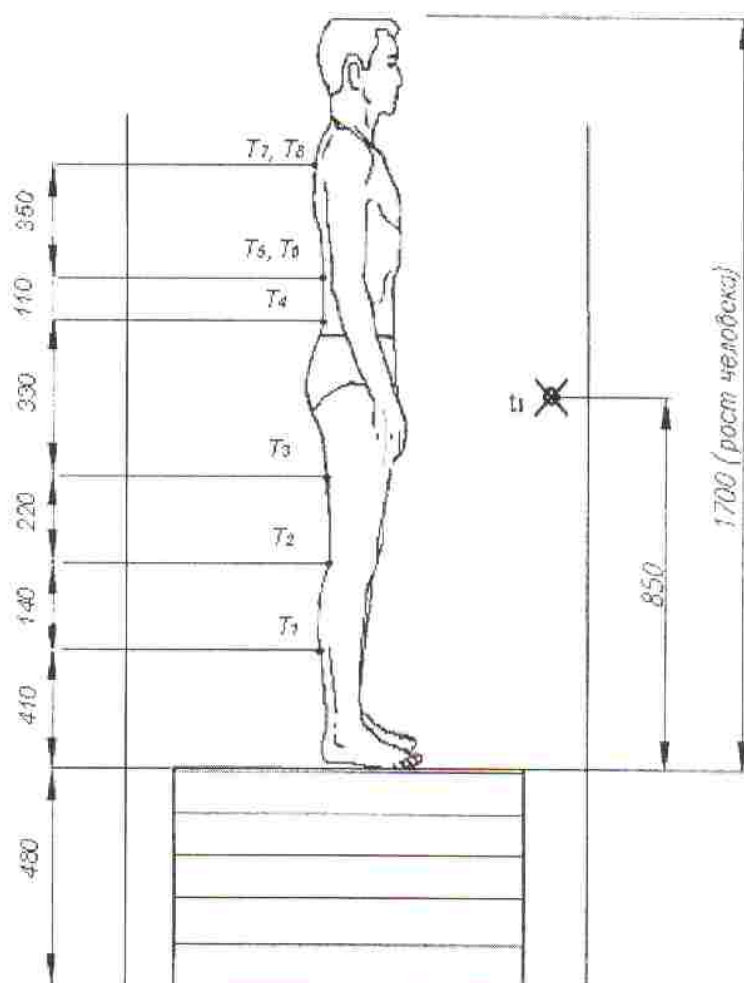


Рис. 3 Схема размещения датчиков температуры на теле пациента при проведении второго этапа экспериментов

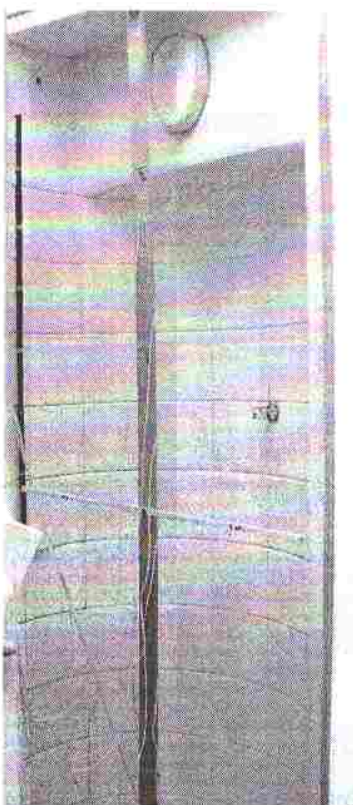


Рис. 4 Общий вид расположенных по высоте и диаметру криокамеры датчиков температуры на измерительной штанге в криокамере «Криомед-20/150-01»

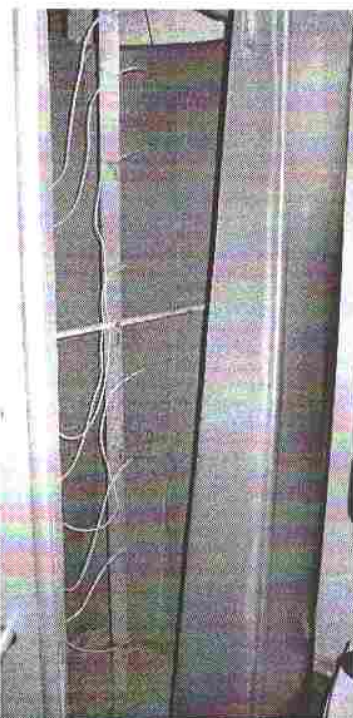


Рис. 5 Общий вид расположенных по высоте и диаметру криокамеры датчиков температуры на измерительной штанге в криокамере «Казк-01-Крион»

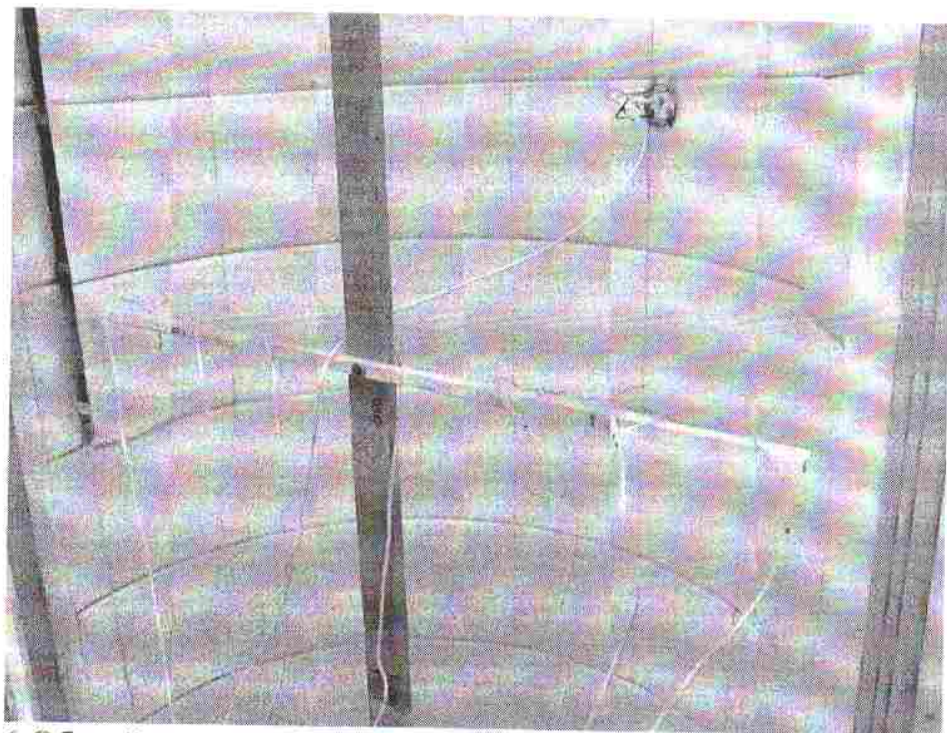


Рис. 6 Общий вид расположенных по диаметру криокамеры датчиков температуры на измерительной штанге в криокамере «Криомед-20/150-01»

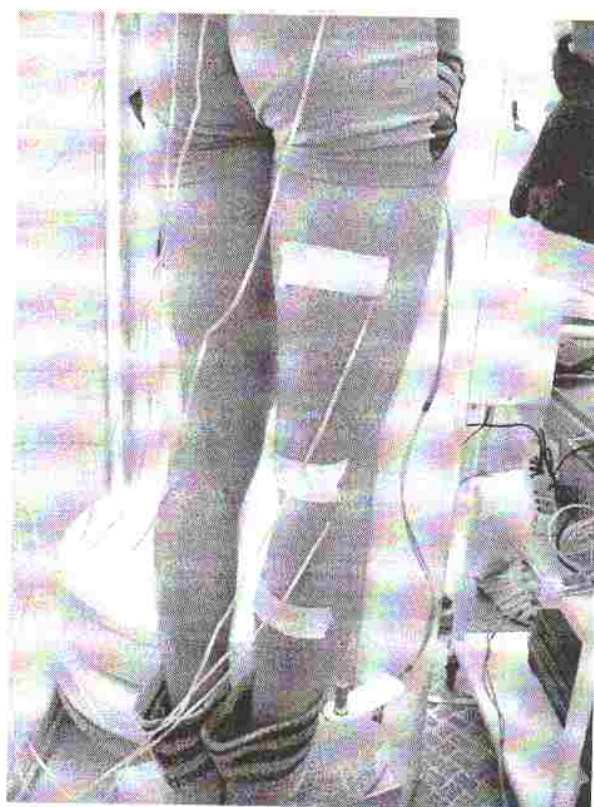


Рис. 7 Расположение датчиков температуры на теле пациента при проведении сеанса криотерапии в криокамере «Криомед-20/150-01».



Рис. 8 Расположение датчиков температуры на теле пациента при проведении сеанса криотерапии в криокамере «Кэкт-01-Крион»

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Общий вид криокамер при проведении сеанса криотерапии с пациентами представлен на рис. 9...11.

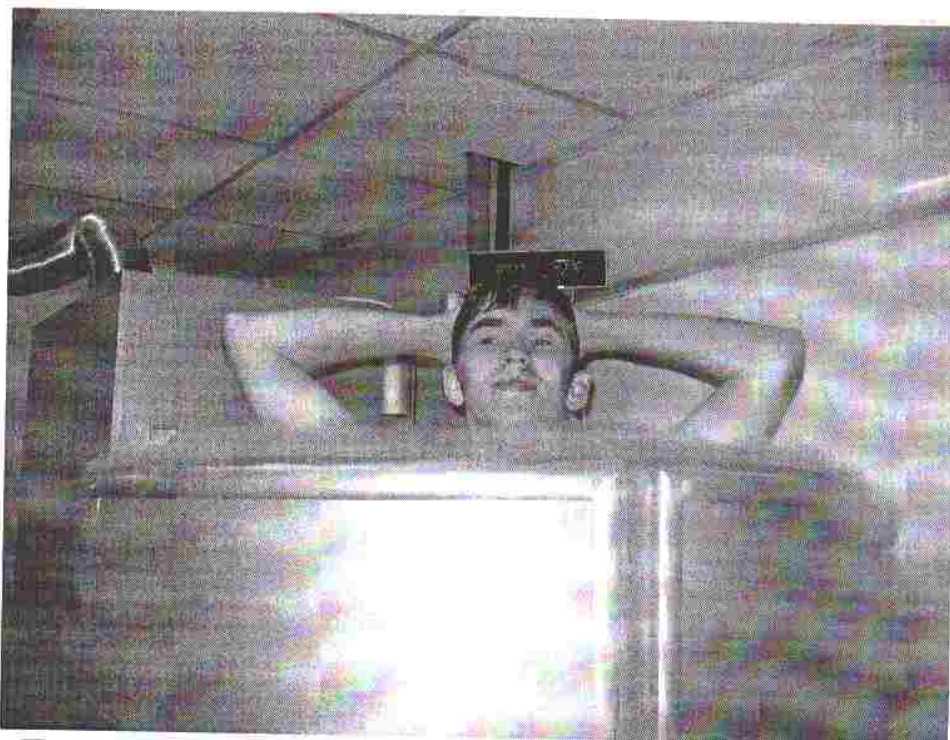


Рис. 9 Проведение сеанса криотерапии в криокамере «Каэкт-01-Крион» (открытая сверху камера)

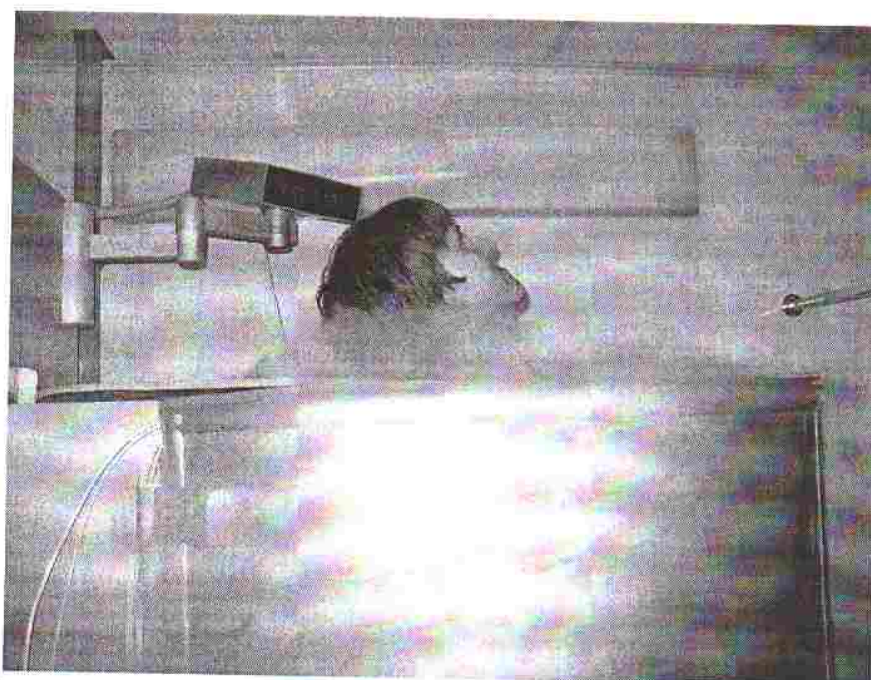


Рис. 10 Проведение сеанса криотерапии в криокамере «Каэкт-01-Крион» с её частичной герметизацией (на шее пациента установлен ворот из пенополипропелена)

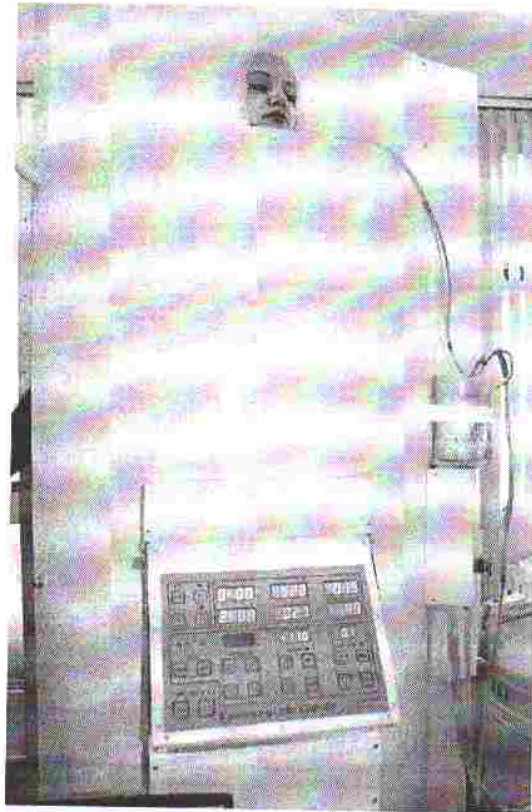


Рис. 11 Проведение сеанса криотерапии в криокамере «Криомед-20/150-01»

2.1. Результаты измерений в криокамере «Криомед-20/150-01»

Результаты измерения температурных полей в криокамере на первом этапе эксперимента представлены на рис. 12,13. На рисунке отмечены координаты установки термопар. Для измерений температуры по высоте камеры отсчёт координат осуществляется от уровня подставки. При измерении температуры по диаметру камеры отсчёт координат осуществляется от оси камеры.

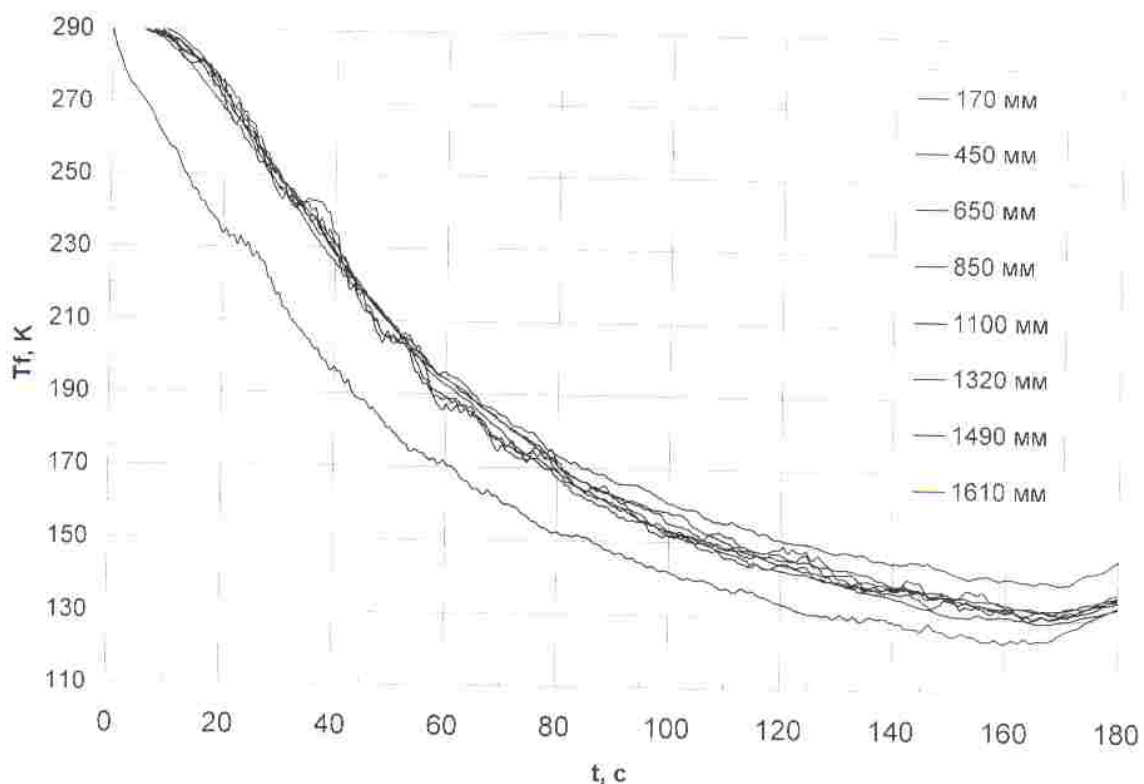


Рис. 12 Температура по высоте криокамеры «Криомед-20/150-01» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента)

Отмечаются максимальные пульсации температур за счёт конвективного движения среды в пределах от 5 до 10К. К 160с завершается процесс охлаждения среды с установлением постоянной температуры $130 \pm 10\text{K}$.

На рис. 14 представлено изменение температуры по высоте криокамеры для трёх характерных моментов времени. Изменение температуры в верхней части камеры на высотах от 400 до 1600 мм незначительно и не превышает 10 К. Изменение температуры в нижней части камеры на высоте от 0 до 400 мм существенно и достигает 20 К от момента завершения охлаждения камеры. Эта разница температур достигает 40 К через 30 с момента поступления холодного газа в объём камеры.

На рис. 15 представлено изменение температуры в сечении криокамеры (по диаметру) для трёх характерных моментов времени. Видно, что изменение температуры по сечению камеры не превышает 10 К, после завершения охлаждения камеры. В начальной фазе охлаждения перепад температур составляет 35 К через 30 с от момента поступления холодного газа в объём камеры.

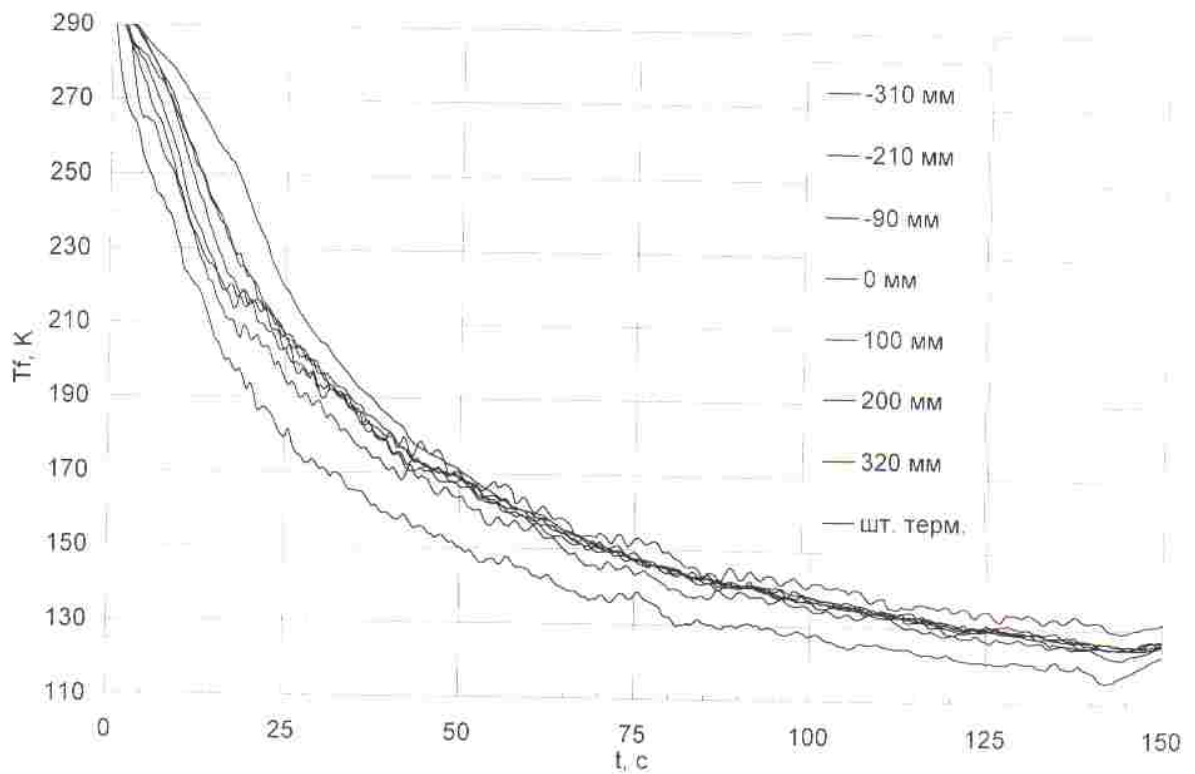


Рис. 13 Температура в сечении криокамеры «Криомед-20/150-01» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента)

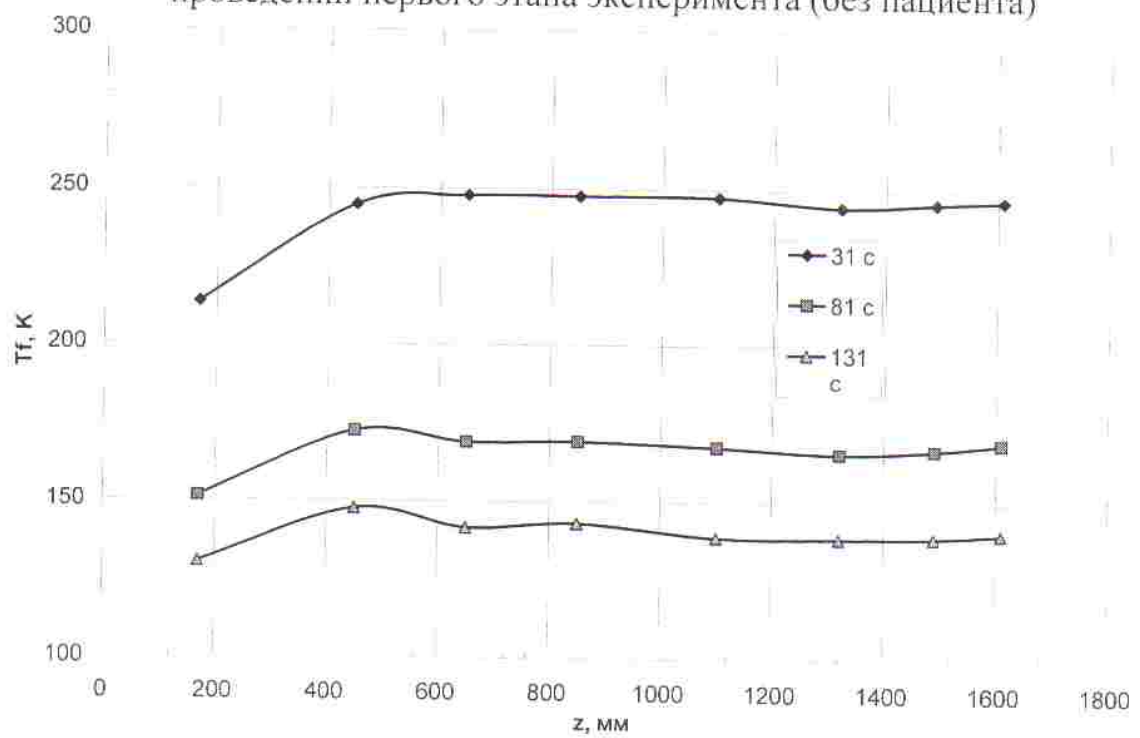


Рис. 14 Изменение температуры по высоте криокамеры «Криомед-20/150-01» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента) для трёх моментов времени

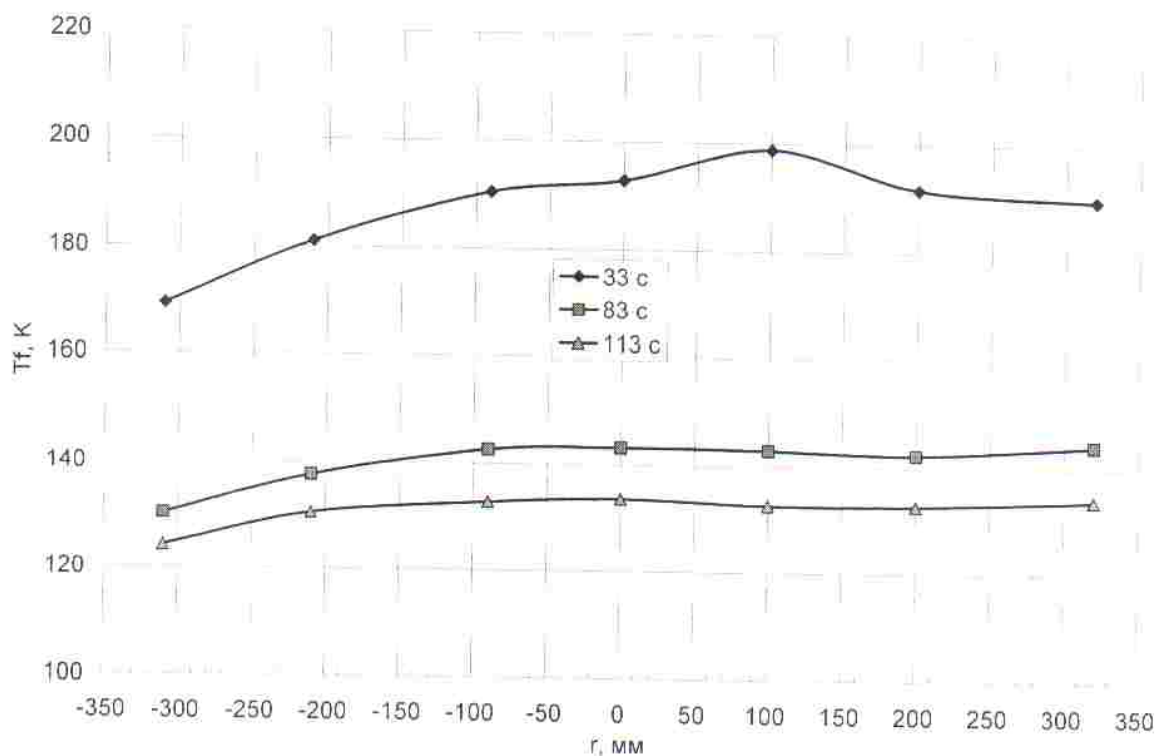


Рис. 15 Изменение температуры в сечении криокамеры «Криомед-20/150-01» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента) для трёх моментов времени

Результаты измерения температурных полей с пациентом в криокамере на втором этапе эксперимента представлены на рис. 16.

Отмечается увеличение перепада температуры по высоте криокамеры. Перепад температуры между средовыми термопарами, установленными на пояснице и лопатке на расстоянии 460 мм достигает 15 К. При отсутствии пациента в криокамере этот перепад температур не превышает 5 К. Наименьшая величина температуры на поверхности тела пациента возникает под коленом пациента и составляет 250 К (-20°C) уже через 120 с после подачи холодного газа. Ягодица, икра и голень пациента приобретают температуру 265 К (-8°C). Температура в области спины на уровне лопатки и пояснице выше 0°C.

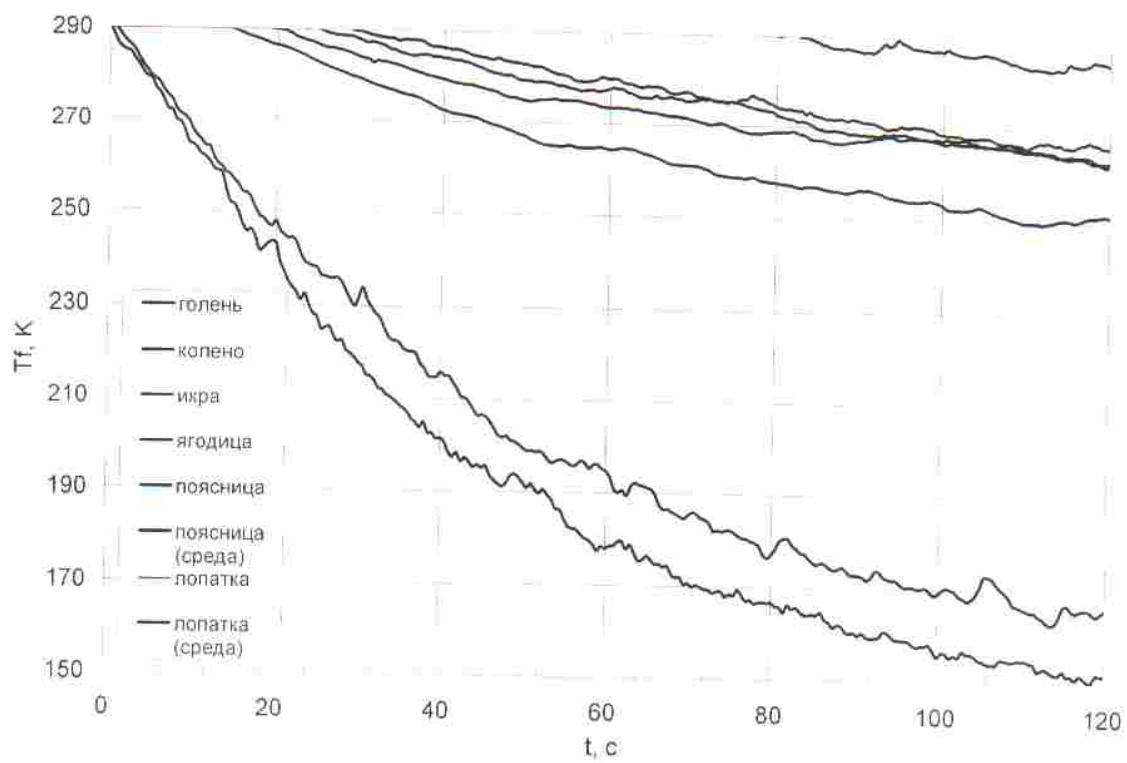


Рис. 16 Результаты измерения температуры в криокамере «Криомед-20/150-01» на втором этапе эксперимента с пациентом

2.2. Результаты измерений в криокамере «Каэкт-01-Крион»

Результаты измерения температурных полей в криокамере на первом этапе эксперимента представлены на рис.17, 18. На рисунке отмечены координаты установки термопар. Для измерений температуры по высоте камеры отсчёт координат осуществляется от уровня подставки. При измерении температуры по диаметру камеры отсчёт координат осуществляется от оси камеры.

Отмечаются максимальные пульсации температур за счёт конвективного движения среды, в пределах от 2 до 15 К. К 140 сек., завершается процесс охлаждения среды с установлением постоянной температуры 145 ± 5 К.

Эта разница температур достигает 50 К через 31 с, момента поступления холодного газа в объём камеры.

На рис. 20 представлено изменение температуры в сечении криокамеры (по диаметру) для трёх характерных моментов времени. Видно, что изменение температуры по сечению камеры не превышает 15 К, после завершения охлаждения камеры. В начальной фазе охлаждения перепад температур составляет 40 К через 31 с, с момента поступления холодного газа в объём камеры. Температура газа вблизи стенок криокамеры наименьшая по сравнению с осевым значением.

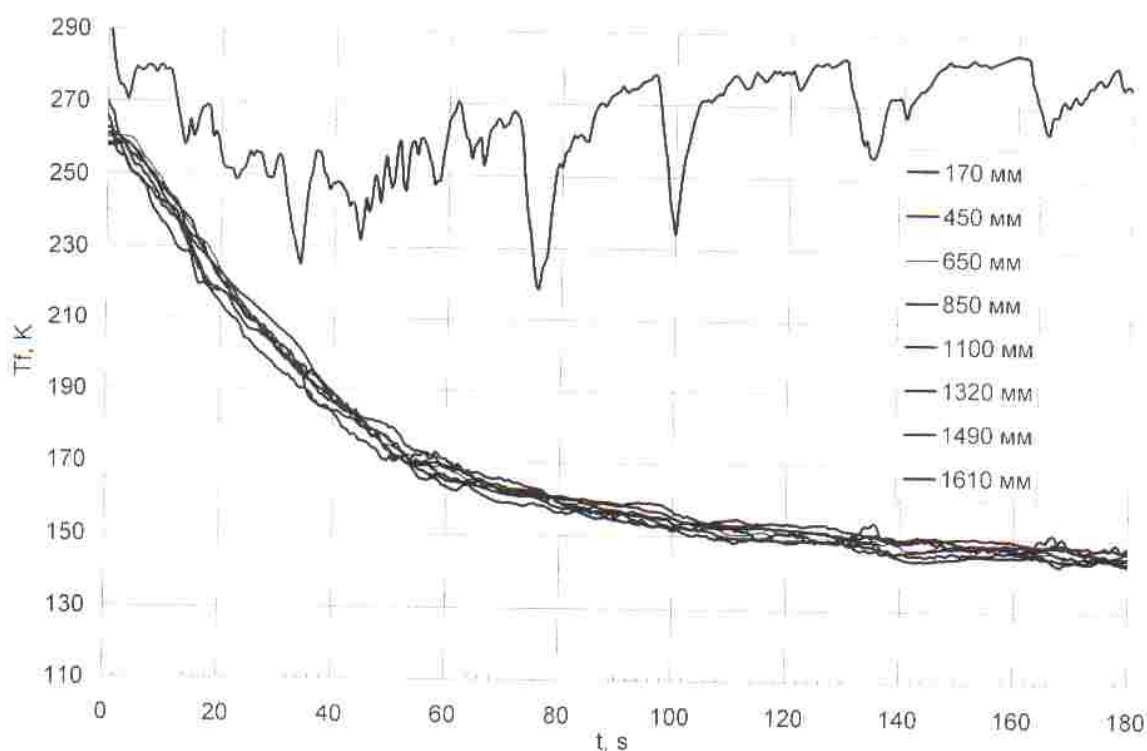


Рис.17 Температура по высоте криокамеры «Каэкт-01-Крион» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента)

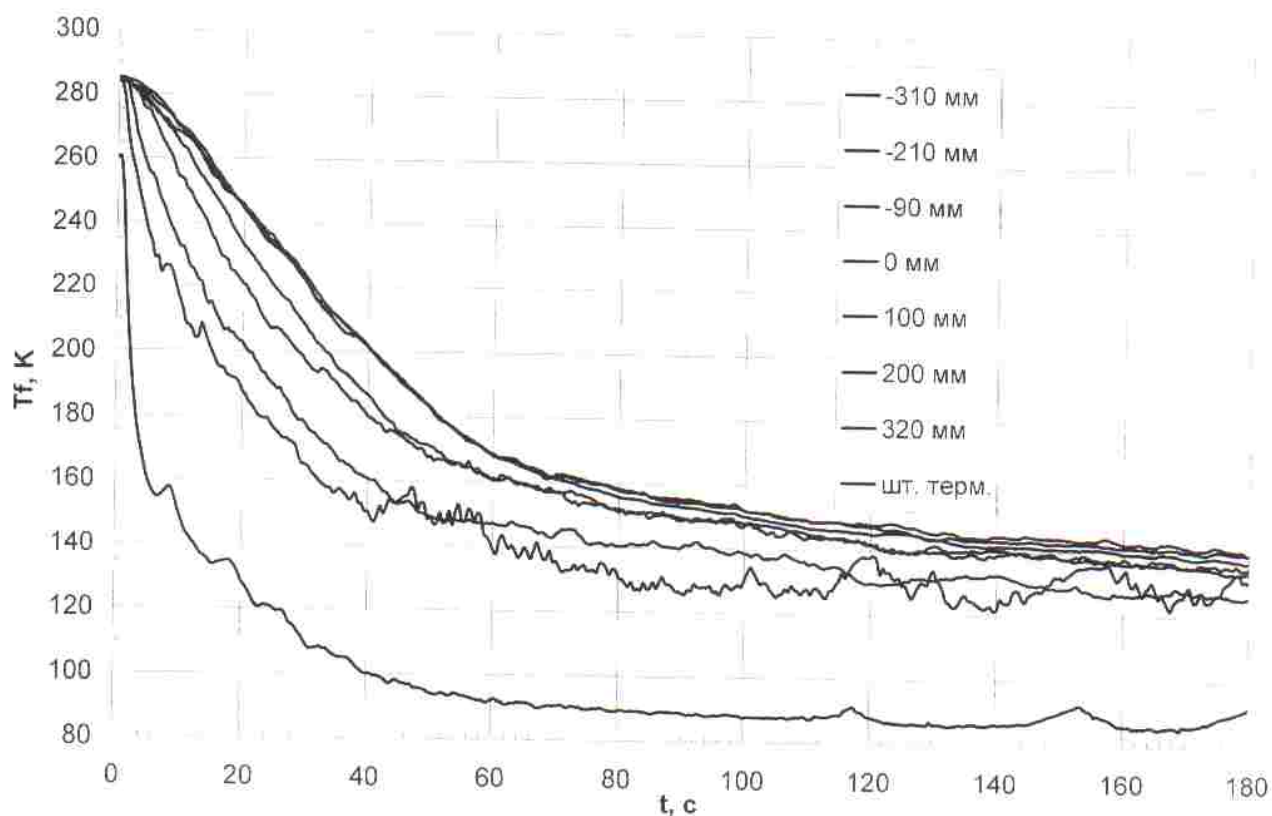


Рис.18 Температура в сечении криокамеры «Казкт-01-Крион» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента)

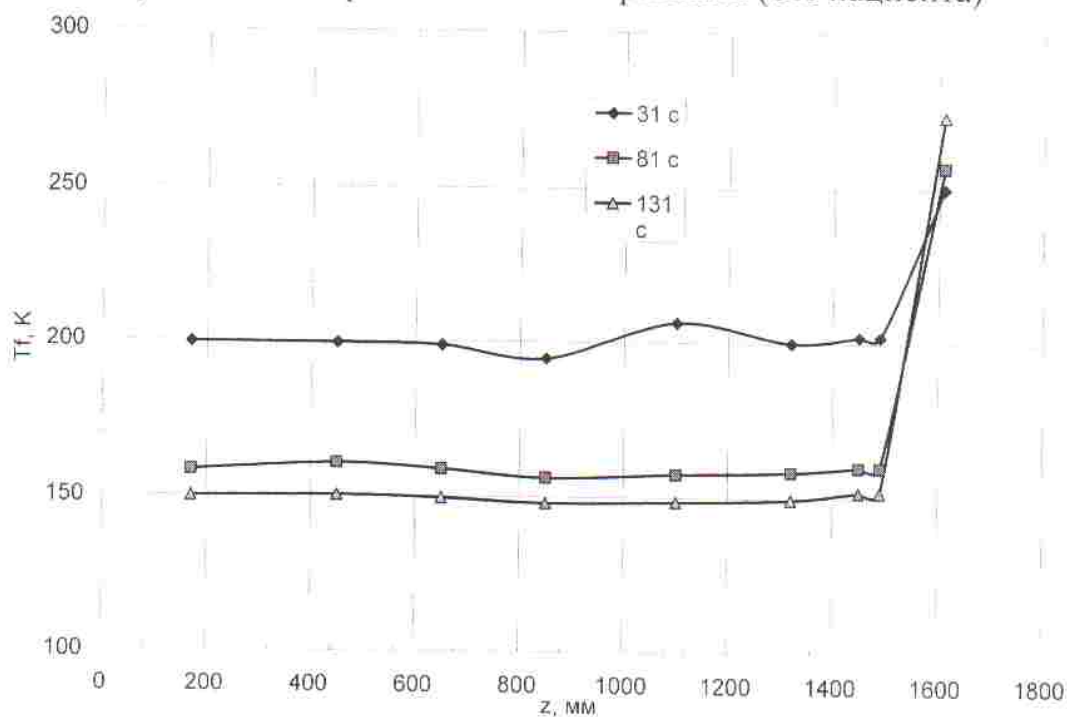


Рисунок 19 Изменение температуры по высоте криокамеры «Казкт-01-Крион» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента) для трёх моментов времени

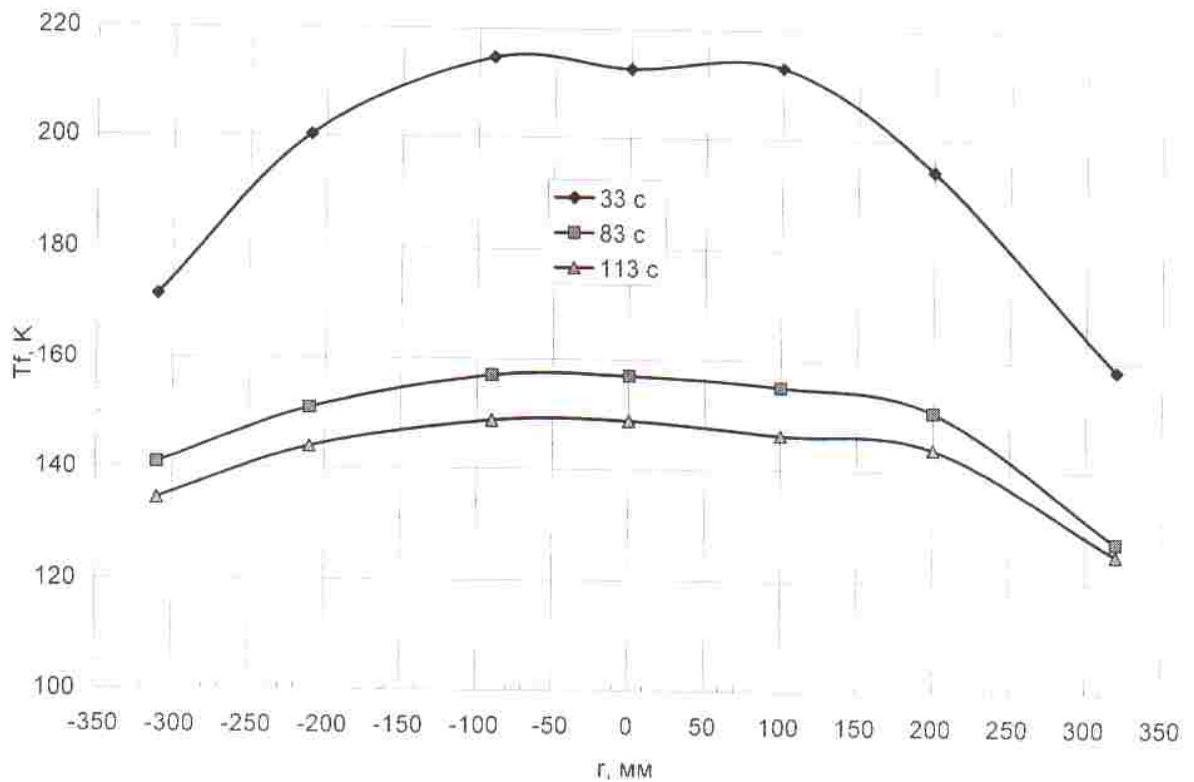


Рис.20 Изменение температуры в сечении криокамеры «Казэкт-01-Крион» при проведении первого этапа эксперимента (без пациента) для трёх моментов времени

Результаты измерения температуры в криокамере «Казэкт-01Крион» на втором этапе эксперимента с пациентом представлены на рис. 21, 22.

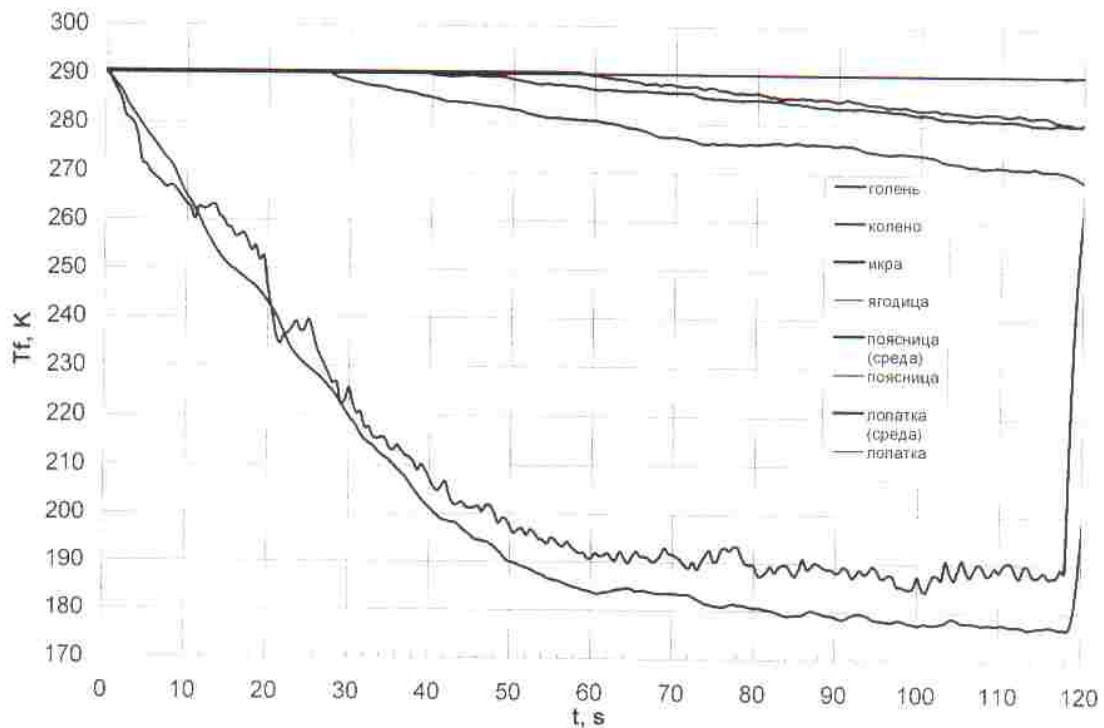


Рис.21 Результаты измерения температуры в криокамере «Казэкт-01 Крион» на втором этапе эксперимента с пациентом №1

Результаты эксперимента с открытой камерой (пациент №1) представлены на рис. 21. Перепад температуры между средовыми термопарами, установленными на пояснице и лопатке (высота 460 мм) достигает 20 К. При отсутствии пациента в криокамере этот перепад температур не превышает 3 К. Наименьшей величина температуры на поверхности тела пациента возникает под коленом и составляет 270К (-3⁰С) через 120 с после подачи холодного газа. Ягодица, икра и голень пациента приобретают температуру 280 К (10⁰С). Температура спины на уровне лопатки и пояснице выше 0⁰С.

Результаты эксперимента с частично открытой камерой (пациент №2) представлены на рис. 22. Перепад температуры между средовыми термопарами, установленными на пояснице и лопатке на расстоянии 460 мм достигает 20 К. При отсутствии пациента в криокамере этот перепад температур не превышает 3 К. Наименьшая величина температуры на поверхности тела пациента возникает под коленом пациента и составляет 273 К (0⁰С) через 120 с после подачи холодного газа. Ягодица, икра и голень пациента приобретают температуру от 275 до 285 К (2...12⁰С). Температура спины на уровне лопатки и поясницы выше 0⁰С.

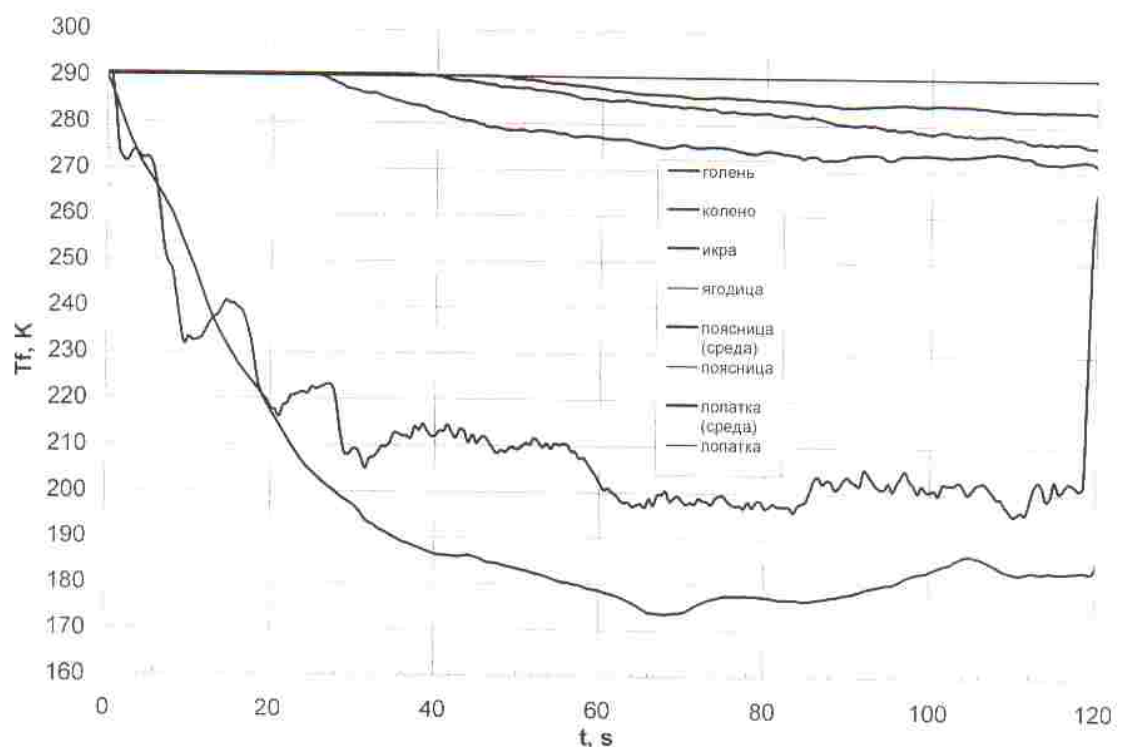


Рис.22 Результаты измерения температуры в криокамере «Казэкт-01 Крион» на втором этапе эксперимента с пациентом №2 (на шее пациента установлен ворот из пенополипропелена)

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Условия проведения криопроцедур на двух камерах разной конструкции отличаются между собой. Наиболее важным фактором является величина скорости охлаждения среды в криокамере. Скорость охлаждения среды в криокамере определяется возможностью работы системы подачи и скоростью её циркуляции в объёме камеры. Скорость охлаждения вычислялась по результатам измерений температур в центре криокамеры с помощью алгоритма регуляризации по Тихонову.

На рис. 23 показано сопоставление скоростей охлаждения в этих криокамерах на первом этапе эксперимента.

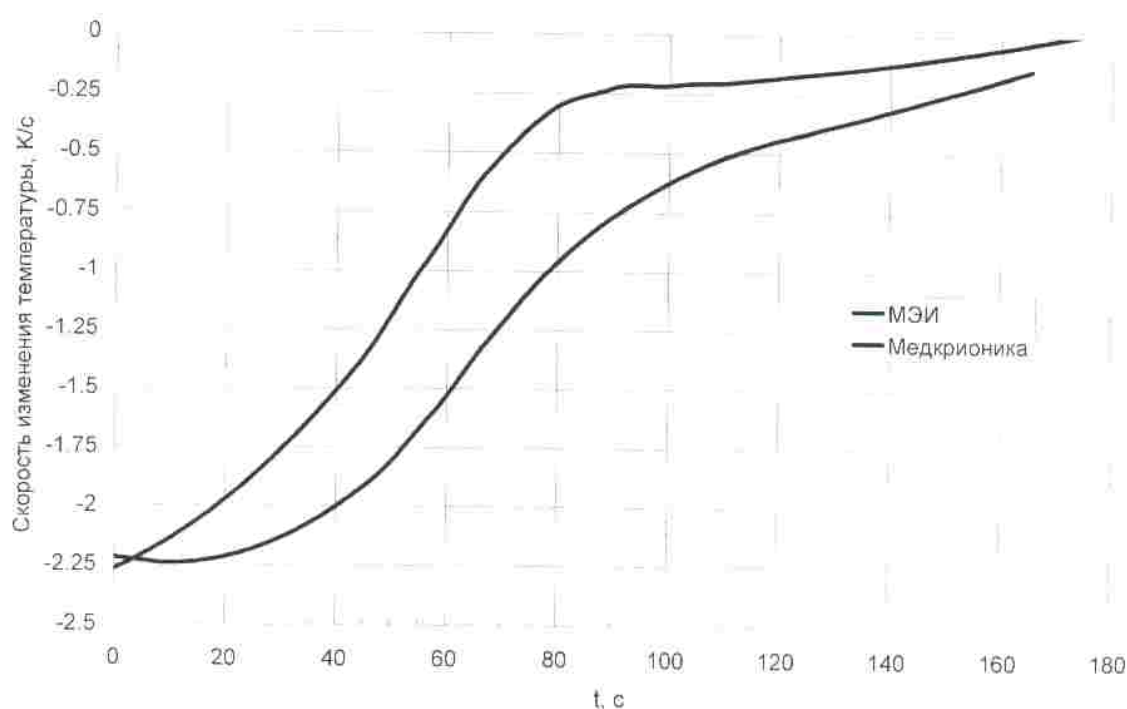


Рис.23 Сопоставление скоростей охлаждения в криокамерах на первом этапе эксперимента

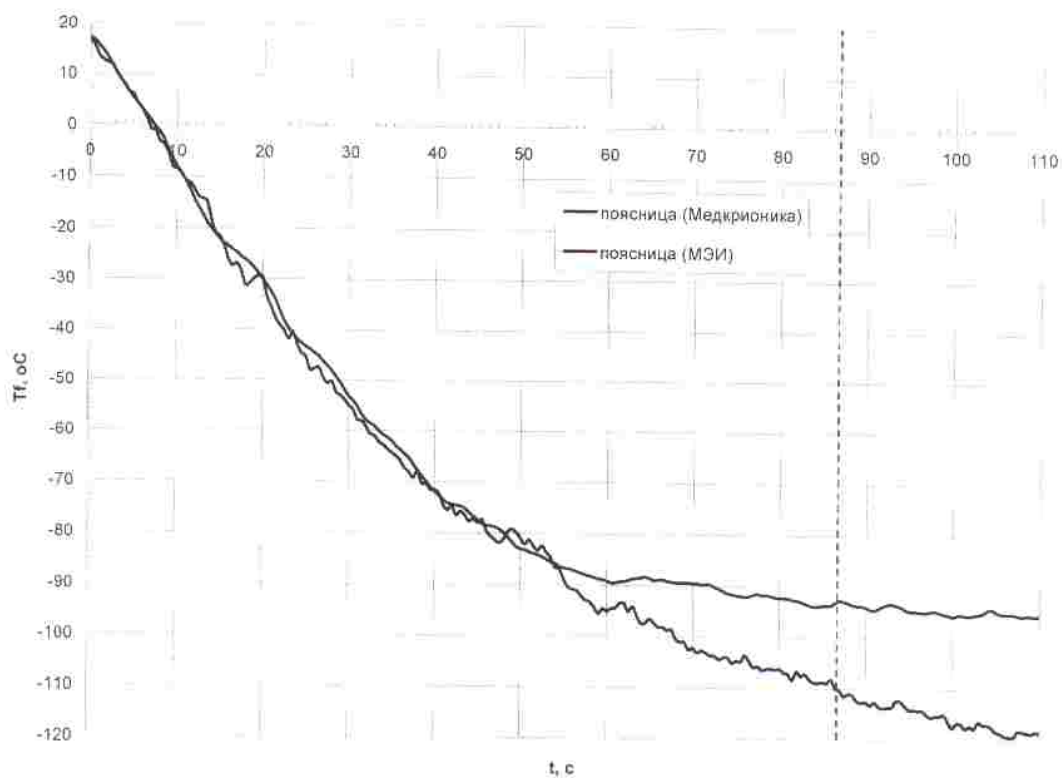


Рис. 24 Сопоставление изменения средовых температур на уровне поясницы пациента в двух криокамерах

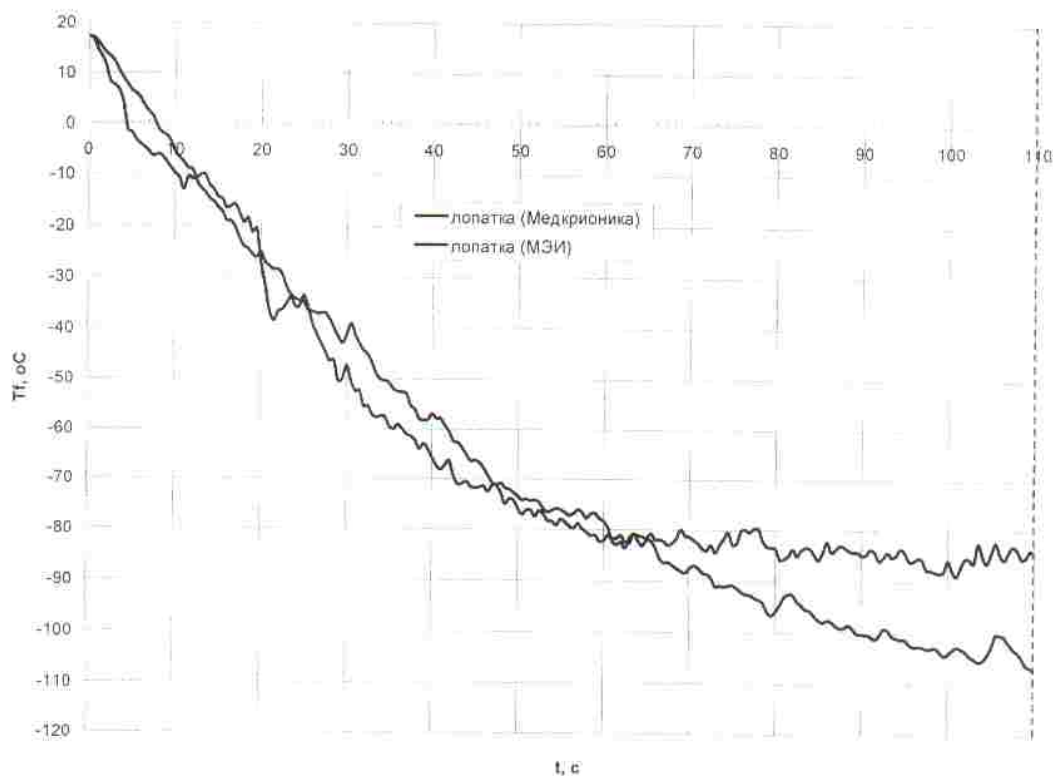


Рис. 25 Сопоставление изменения средовых температур на уровне лопатки пациента в двух криокамерах

В начальной фазе охлаждения (до 10 с) скорости охлаждения совпадают. Однако, в дальнейшем отмечается превышение скорости охлаждения среды в

криокамере «Криомед-20/150-01» по сравнению с криокамерой «Казкт-01-Крион»: в 1.15 раза к 40 с, в 4 раза к 80 с и в 2 раза к 150 с. По – видимому, это связано с различными условиями дренажа газа из камер.

В криокамере «Криомед-20/150-01»(без пациента) значение температуры среды равной 130 К (-143⁰С) достигается к 150 секунде. В криокамере «Казкт-01-Крион» к 150 секунде создается температура 145 К (-128⁰С).

Большая скорость охлаждения в криокамере «Криомед-20/150-01» приводит и к поддержанию более низкой поверхностной температуре кожи пациента.

На рис. 24 и 25 показано сопоставление значений средовых температур в двух криокамерах. Отмечается значительное (до 20 ⁰С) различие в уровне температур при увеличении времени измерения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнены экспериментальные исследования температурных полей в криогенных медицинских камерах (криокамерах) «Криомед-20/150-01» и «Каэкт-01-Крион»

2. Создана методика экспериментального исследования температурных полей в криогенных медицинских камерах.

3. В начальной фазе охлаждения (до 10 с) скорости охлаждения совпадают. Однако, в дальнейшем, отмечается превышение скорости охлаждения среды в криокамере «Криомед-20/150-01» по сравнению с криокамерой «Каэкт-01-Крион»: в 1.15 раза к 40 с, в 4 раза к 80 с и в 2 раза к 150 с. По-видимому, это связано с различными условиями дренажа газа из камер.

4. Показания штатного датчика температуры криокамеры «КРИОМЕД-20/150-01», в пределах погрешности измерения, практически, совпадает с результатами измерения средовых термопар системы измерения.

5. Показания штатного датчика температуры криокамеры «КАЭКТ-01-КРИОН» существенно различаются с показаниями средовых термопар. На первом этапе (без пациента) дисплей показывает температуру на 50°C ниже, чем фактическая температура среды в процедурной кабине. На втором (с пациентом), соответственно, - на 100°C и более.

6. Криовоздействие в криокамере «КРИОМЕД 20/150-01» с уровнем температур ниже -120°C осуществляется, практически, по всей поверхности пациента, за исключением лица.

7. Криовоздействия в криокамере «КАЭКТ-01-КРИОН» с уровнем температур около -90°C и выше осуществляется преимущественно на нижнюю половину тела пациента (ниже маммилярной линии).

8. В криокамере «КРИОМЕД 20/150-01» во время криопроцедуры выход на температуру среды -110°C происходит через 70-80 с, и падение температуры продолжается до -150°C и ниже, с увеличением экспозиции до 180 с.

9. В криокамере «КАЭКТ-01-КРИОН» во время криопроцедуры температура среды за 70-80 с выходит на уровень -90°C и далее не снижается при экспозиции до 180 с.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В процедурной кабине криокамеры «Каэкт-01-Крион» необходимо установить температурный датчик, что позволит проводить мониторинг реальной температуры газовой среды во время проведения криопроцедуры.

2. Для достижения уровня температуры газовой среды во время криопроцедуры ниже -90°C в криокамере «Каэкт-01-Крион» необходимо увеличить объем подаваемого через сопла криогенного газа.