

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ПОТОВЫХ КАНАЛОВ В ПРОЦЕССЕ  
ПРОВЕДЕНИЯ ОККЛЮЗИОННОЙ ПРОБЫ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 206 группы  
направления 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»  
факультета нано- и биомедицинских технологий

Аверкиной Александры Владимировны

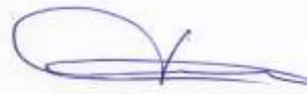
Научный руководитель  
доцент, кандидат ф.-м. н.



А.А. Сагайдачный

подпись, дата

Зав. кафедрой  
д. ф.-м. н., доцент



Е.П. Селезнев

подпись, дата

Саратов 2018 год

## **Введение**

В последнее десятилетие в разных регионах земного шара все чаще стали отмечаться климатические нарушения, обусловленные аномально жаркой погодой, которая сохранялась на протяжении длительного периода времени. Данные более 50 европейских исследований о смертности населения в периоды летней жары показали, что наиболее высокой она была у пожилых людей, страдающих хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, сахарным диабетом. Основными органами, отвечающими за температурный гомеостаз, являются легкие и кожа. В термонеutralных условиях через легкие выделяется 300-400 мл воды в сутки, что способствует потере 175- 230 ккал, а через кожу путем потоотделения испаряется до 500мл воды в сутки, но суммарная отдача тепла выше и составляет порядка 400-500 ккал. Более высокая эффективность кожной терморегуляции обусловлена функционированием нескольких механизмов теплоотдачи:

- 1) излучением – отдача тепла в окружающую среду поверхностью тела человека в виде электромагнитных волн инфракрасного диапазона;
- 2) теплопроводением – отдача тепла при контакте кожных покровов с другими физическими телами;
- 3) конвекцией – перенос тепла движущимися частицами воздуха (воды);
- 4) испарением – способ рассеяния тепла в окружающую среду за счет его затраты на испарение пота или влаги с поверхности кожи.

Наблюдается интерес к использованию термограмм для исследования активности потовых каналов. В настоящее время актуальным направлением является разработка методов визуализации потовых желез.

### Цели и задачи работы

**Целью дипломной работы является** анализ активности потовых каналов в процессе проведения окклюзионной пробы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) Записать термограммы для 3-х испытуемых.
- 2) Написать программу, которая количественно подсчитывала бы открытые потовые каналы.
- 3) Построить графики изменения количества потовых каналов с течением времени.
- 4) Найти среднюю температуру каждого термографического изображения.
- 5) Построить графики изменения температуры во времени.

### Теоретическая база исследований

- Современное матричное тепловидение в биомедицине: Г.Р. Иваницкий
- Параметры микроциркуляторного кровотока в коже человека в условиях длительного теплового стресса (модельный эксперимент) в труде: Федорович А.А., Родненков О.В., Агеева Н.В., Осяева М.К., Рогоза А.Н.
- Матричное тепловидение в физиологии. Исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека: Вайнера Б.Г.

### Структура и объем работы

По своей структуре работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка используемых источников и приложения. Работа изложена на 49 страницах машинописного текста, содержит 26 рисунков, список литературы из 19 наименований.

## Краткое содержание работы

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и решаемых задач, формулируется цель исследования, определяется научная новизна и практическая ценность результатов.

**В первой главе** дается представление о предпосылках возникновения интереса к изучению активности потовых каналов методом динамической термографии. Описываются методы окклюзионной пробы и динамической термографии. Матричное тепловидение - неконтактный, безвредный, быстрый, и безболезненный способ диагностики различных заболеваний. Существует два возможных назначения тепловизоров в медицине. Одно из которых проведение панорамного обзора, а второе - осуществление дистанционного измерения абсолютных температур в каждой точке тела испытуемого. При качественной визуальной диагностике ряда заболеваний используется панорамный обзор. Дистанционное измерение температур необходимо чтобы сравнивать наблюдения на больших интервалах времени. Метод ИК-термографии основан на удаленной регистрации распределения температуры, на поверхности кожи, выполняемой с помощью специального устройства, тепловой камеры, которая принимает и обрабатывает тепловое (инфракрасное) излучение, испускаемое изучаемым объектом. Измеренное двумерное изображение представляется в виде черно-белой или цветной термограммы. Как правило, темные и светлые зоны в черно-белых термограммах представляют собой соответственно низкотемпературные и высокотемпературные области исследуемой поверхности кожи. Современные тепловизионные устройства могут считывать значение температуры в любой точке термограммы.

Окклюзионная проба - это простой неинвазивный тест. Во время теста производится полное пережатие артерии на одной из конечностей испытуемого на несколько минут. В ответ на окклюзию, после освобождения

конечности, происходят изменения кровотока на участке дистальнее места пережатия. Наиболее характерными проявлениями являются изменение кровенаполнения капилляров пальца и увеличение времени распространения пульсовой волны. Наблюдение изменения кровенаполнения позволяет оценить состояние эндотелиальной функции мелких резистивных артерий и артериол.

Изменение времени прохождения сигнала, т.е. сдвиг фаз, определяется влиянием монооксида азота на гладкомышечные клетки артериальной стенки крупных мышечных артерий (плечевая и лучевая артерии). Монооксид азота способствует снижению тонуса этих артерий и прилежащих мышц, что приводит к снижению скорости пульсовой волны и изменению ее формы.

При окклюзионной пробе рука пережимается с давлением, превышающим систолическое. При этом поступление артериальной крови в руку прекращается. Прекращение поступления артериальной крови, имеющей температуру гомойотермного ядра организма, вызывает снижение температуры руки. Кровь, содержащаяся в капиллярах и артериолах, частично оттекает в венозное русло, что в целом сопровождается побелением кожных покровов. После снятия окклюзии артериальная кровь устремляется в руку. При этом наблюдаются гиперемия, покраснение кожных покровов, повышение их температуры. Кровь с некоторой временной задержкой, в зависимости от удаленности от места пережатия, приходит в движение во всех участках руки. Кровенаполнение тканей и мгновенная скорость кровотока в ближайшее время после снятия окклюзии, как правило, превышают соответствующие установившиеся значения до проведения пробы. С физиологических позиций этот тест можно описать следующим образом. После снятия давления в окклюзионной манжете скорость кровотока в плечевой артерии резко возрастает (на 300 – 800% от исходной). При увеличении скорости потока крови в плечевой артерии возрастает напряжение сдвига, прикладываемое к поверхности эндотелиальных клеток.

Возросшее напряжение сдвига приводит к активации синтеза оксида азота эндотелиальными клетками. Локальное увеличение концентрации оксида азота оказывает свое воздействие на тонус гладких мышц артерии, приводя к ее дилатации. При дилатации плечевой артерии амплитуда пульсовых волн возрастает. Одним из основных факторов, влияющих на описанные процессы, является состояние сосудистой системы конечности — начиная от крупных сосудов и заканчивая тонусом капиллярного русла. [7] Таким образом, применение окклюзионной пробы и последующая интерпретация с описанных выше позиций могут помочь получить дополнительную диагностическую информацию, в том числе о ряде сосудистых патологий. В качестве измерительной технологии, регистрирующей реакцию на пробу, может выступать термография. В ряде случаев применение термографии при той же диагностической ценности позволяет значительно удешевить диагностическое оборудование и тем самым существенно увеличить доступность метода диагностики для пациента. [19]

**Во второй главе** описывается роль процесса потоотделения, как и по какому принципу происходит исследование потовых желез и скорости потоотделения.

Потоотделение является нормальной физиологической функцией организма человека. Участвует в регуляции обмена веществ, поддерживает водно-солевой баланс организма, выводит опасные токсичные продукты и участвует в терморегуляции. Потоотделение имеет большое значение для охлаждения при повышении температуры тела, физической нагрузке или во время эмоционального напряжения, стресса.

Поддержание постоянной температуры тела происходит за счет теплообразования и теплоотдачи. Благодаря деятельности внутренних органов и скелетных мышц образуется тепло, которое требует вывода наружу, иначе организму грозит перегревание. Поэтому избавление от

излишков тепла происходит через поверхность тела, преимущественно путём испарения пота. При испарении с поверхности кожи, вода переходит из жидкого состояния в газообразное и поглощает при этом энергию, вследствие чего организм охлаждается. Пот образуется непрерывно. Даже в состоянии покоя тела и при низкой температуре окружающей среды за сутки может выделяться 500-700 мл пота. Часть потовых желез при этом не работает. При максимальной функциональной активности потовых желез может выделяться до 3-х литров пота в час. Это может привести к обезвоживанию организма.

Также описывается механизм терморегуляции организма человека. Дается определение терморегуляции, описан процесс поддержания теплового баланса организма. Обозначены два способа терморегуляции.

Терморегуляция - это сочетание процессов теплообразования и теплоотдачи. В организме тепловой режим контролируется различными отделами нервной системы, главным образом вегетативными. Предполагается, что существует целый ряд нервных центров, которые в той или иной степени ответственны за поддержание теплового баланса организма.

Теплопродукция осуществляется путем активации биохимических процессов, которые сопровождаются высвобождением тепла. Это тепло поглощается кровью, что приводит к значительному повышению её температуры. Нервные центры терморегуляции, оценивающие температуру крови и регулирующие путем сложных нейрогуморальных влияний интенсивность метаболических реакций, омывает кровь. Этот процесс называют гуморальным путем терморегуляции. Он работает в масштабах всего организма и необходим для контроля теплообразования.

Второй способ терморегуляции - рефлекторный. В этом случае терморегуляция осуществляется путем перераспределения кровотока через

изменение тонуса сосудов. Сигналы принимаются нервными центрами из соответствующих терморцепторов, затем нервные центры подают команды на расширение или сужение кровеносных сосудов какой-либо части тела. Для более быстрого изменения температуры определенного участка тела используются и некоторые другие механизмы терморегуляции. К ним относятся мышечные сокращения (повышение температуры) и потоотделение (охлаждение).

**В третьей главе** представлены результаты, полученные в результате проведения экспериментов.

В ходе исследования проводились измерения колебаний температуры указательных пальцев обеих рук у 3 здоровых испытуемых, находящихся при комнатной температуре в состоянии покоя в течение 9 минут. Возраст испытуемых - 22-23 года. Измерения проводились в положении сидя. Ладони находились тыльной стороной вверх на столе с поверхностью из пенопласта. Указательные пальцы правой и левой руки располагались под объективом тепловизионной камеры. Для проведения окклюзии на левое предплечье надевалась манжета. Запись с тепловизионной камеры включала в себя 3 этапа. Первый этап, предокклюзионный период, длился 3 минуты, испытуемый находился в состоянии покоя. Второй этап – проведение окклюзии в течение 3 минут. Происходило нагнетание (сравливание) воздуха в манжете до давления около 200 мм рт. ст. Третий этап – постокклюзионный период.

Измерения проводились с помощью тепловизионной камеры ThermaCAM SC3000 фирмы FLIR Systems.



Рис.1 Установка тепловизора ThermaCAM SC3000 фирмы FLIR Systems с программным обеспечением.



Рис. 2 (а), (б) Положение испытуемого во время эксперимента

Обработка термограмм выполнялась с помощью профессионального программного обеспечения ThermaCAM Researcher Pro 2.8. Программное обеспечение камеры ThermaCAM Researcher Pro 2.8 позволяет проводить первичную количественную обработку термограмм и получать временные зависимости температуры исследуемых областей поверхности объектов.

Из термограммы на пальце левой и правой руки выделялась область с наиболее выраженными потовыми каналами. Далее происходила обработка каждого кадра полученной записи средствами написанной программы в пакете Mathcad. Таким образом, для каждого испытуемого было обработано 540 термограмм и подсчитано количество открытых потовых каналов в каждую секунду времени.

На рис. 3, 4, 5 представлены графики зависимости температуры и количества открытых потовых каналов от времени для первого, второго и третьего испытуемого соответственно.

### 1. Предокклюзионный период

В предокклюзионный период у всех испытуемых наблюдается синхронность динамики температуры указательных пальцев левой и правой конечностей. На термограмме пальцев рук испытуемых отмечены области измерения температуры и активности потовых каналов. По динамике температуры можно судить о коррелированности и зависимости гемодинамических процессов обеих конечностей. У первого испытуемого средняя температура пальцев колебалась от 31.6 до 33.8 °С. У второго от 33.8 до 36°С. У третьего от 29 до 31.8°С. Колебания температуры у всех испытуемых на обоих пальцах протекали синхронно.

Обнаружена взаимосвязь между пальцами обеих рук при возрастании количества потовых каналов, о чем свидетельствуют характерные пики в один и тот же интервал времени.

### 2.Окклюзионный и постокклюзионный периоды

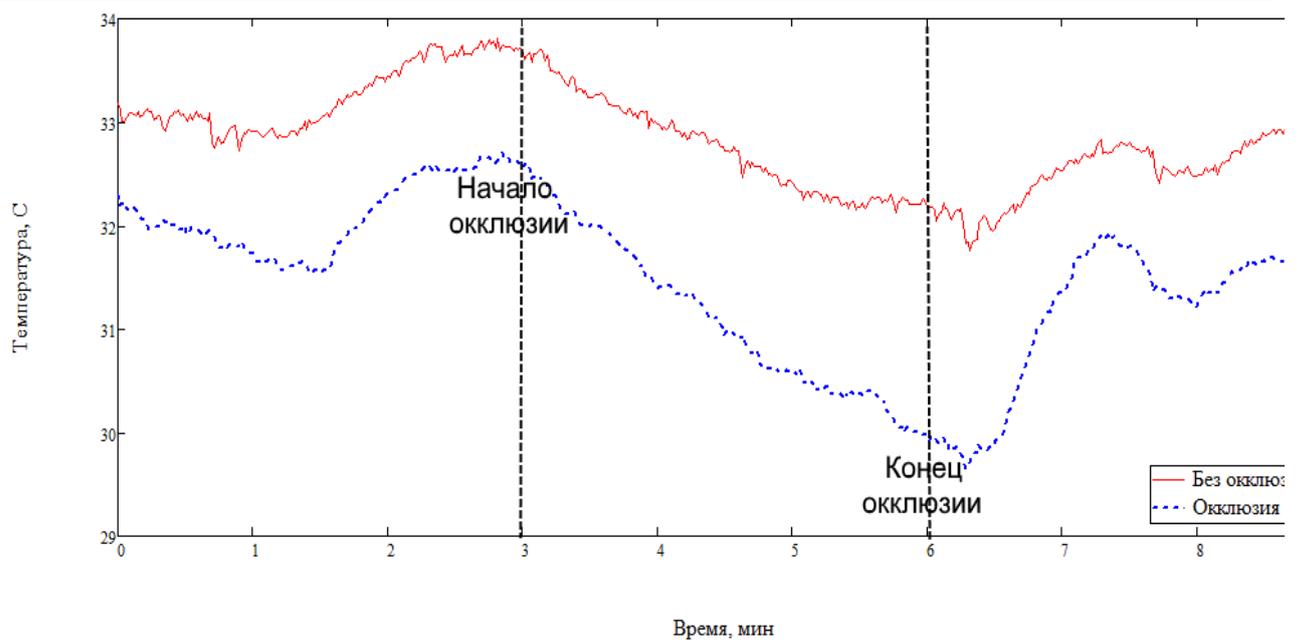
После создания давления в манжете выше систолического в начальный момент может происходить небольшое повышение температуры пальца, после чего температура монотонно снижается. Причем у некоторых

испытуемых наблюдалось небольшое снижение температуры на конечности без окклюзии. Средняя температура пальца первого испытуемого без окклюзии изменялась от 33.8 до 32°C. С окклюзией от 32.5 до 29.9°C. У второго испытуемого на пальце без окклюзии температура колебалась в пределах 35-36°C. С окклюзией от 35.3 до 33.5°C. У третьего испытуемого средняя температура пальца без окклюзии составляла около 31°C. С окклюзией от 29.9 до 27.0°C.

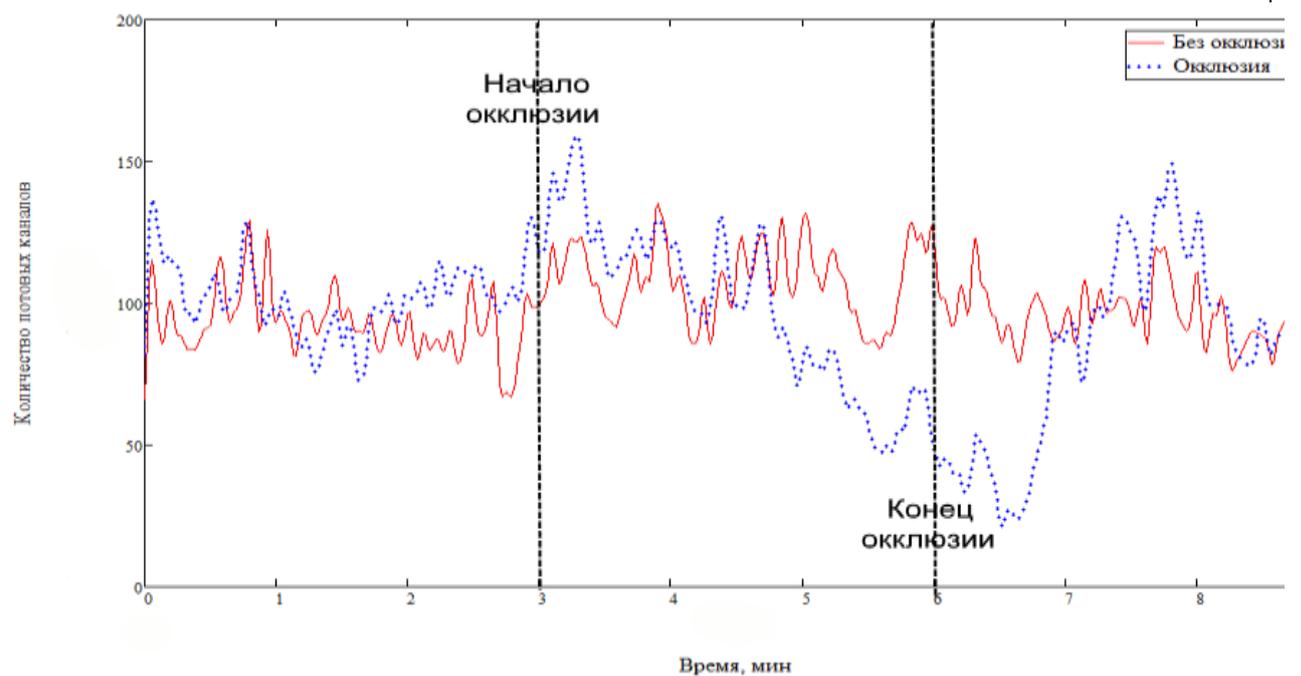
Исследование показало наличие синхронной активации потовых каналов во время создания окклюзии и (или) во время снятия окклюзии. Во время окклюзии открытие потовых каналов происходит с некоторым запаздыванием пальца без окклюзии относительно пальца с окклюзией. У первого испытуемого всплески активности потовых каналов чаще происходили на руке без окклюзии. У второго испытуемого в некоторые моменты времени колебания количества открытых каналов на пальце без окклюзии превышали колебания количества открытых потовых каналов пальца с окклюзией. У третьего испытуемого наоборот изменение количества открытых потовых каналов на пальце с окклюзией имело больший разброс относительно пальца без окклюзии. Это говорит об индивидуальной реакции организма испытуемых на окклюзионную пробу.

В постокклюзионный период во всех случаях наблюдалось резкое увеличение активности потовых каналов на том пальце где была окклюзия, которая превышала активность потовых каналов пальца без окклюзии.

# 1-й испытуемый



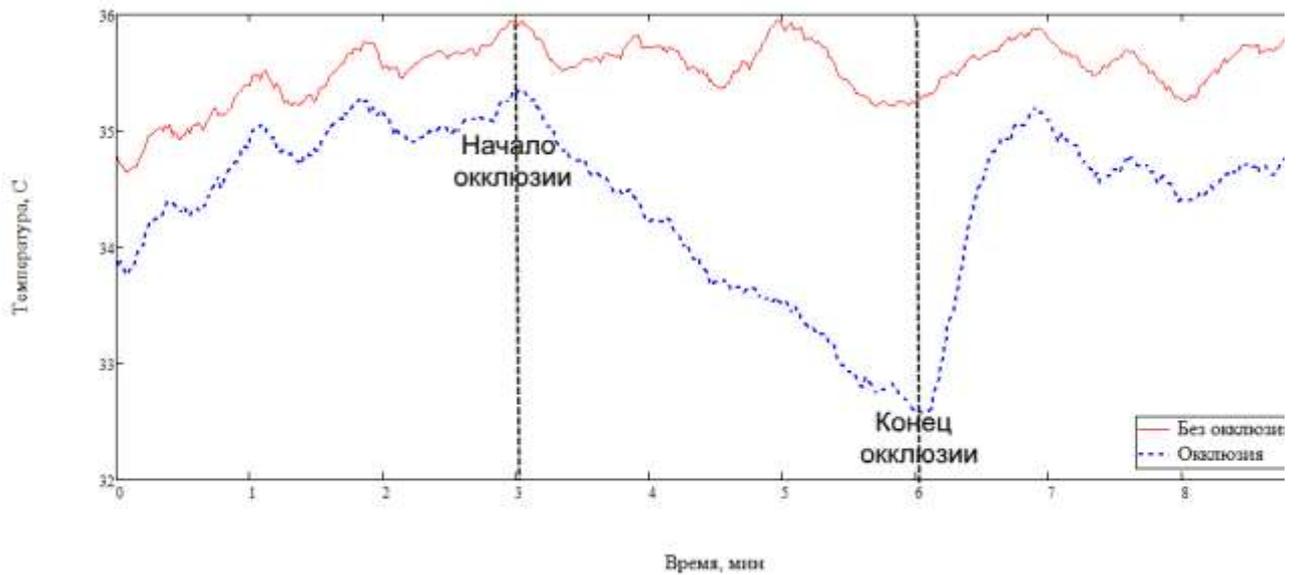
а



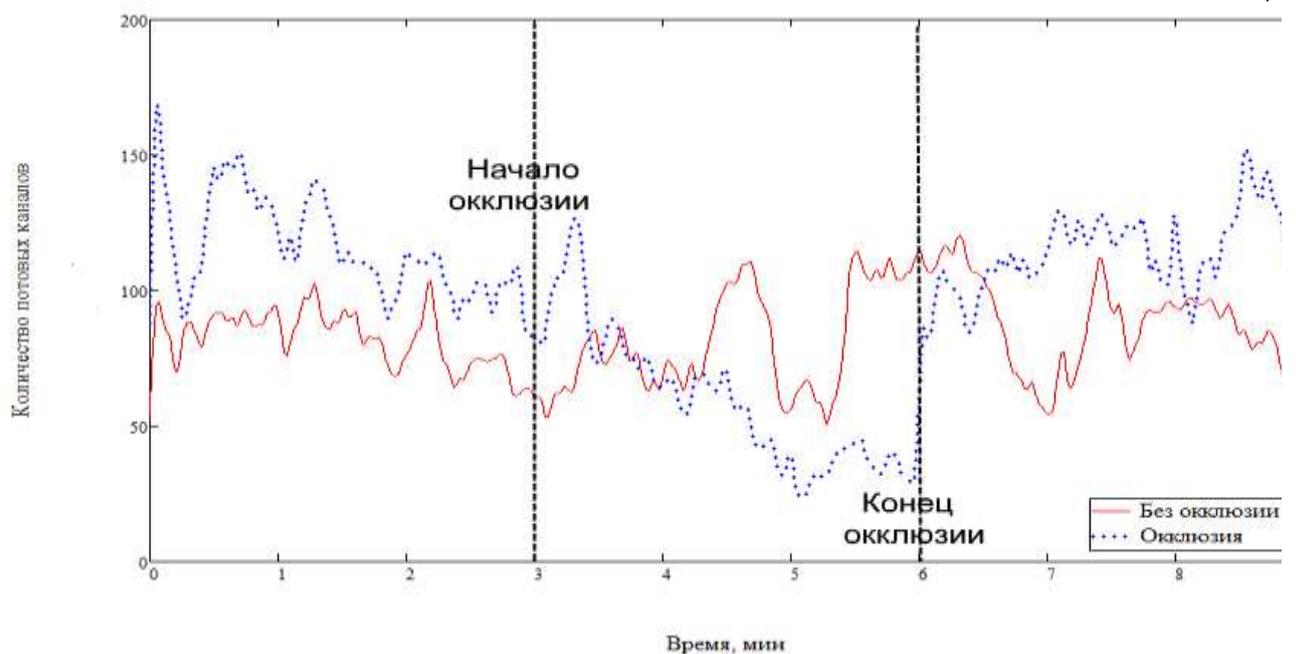
б

Рис. 3 (а) Зависимость температуры и (б) количества открытых потовых каналов от времени для первого испытуемого. Красная сплошная линия - указательный палец правой руки без окклюзии, синяя прерывистая линия - указательный палец левой руки с окклюзией на предплечье. На графике отмечен период начала и конца окклюзии.

## 2-й испытуемый



а



б

Рис. 4 (а) Зависимость температуры и (б) количества открытых потовых каналов от времени для второго испытуемого. Красная сплошная линия - указательный палец правой руки без окклюзии, синяя прерывистая линия - указательный палец левой руки с окклюзией на предплечье. На графике отмечен период начала и конца окклюзии.

### 3-й испытуемый

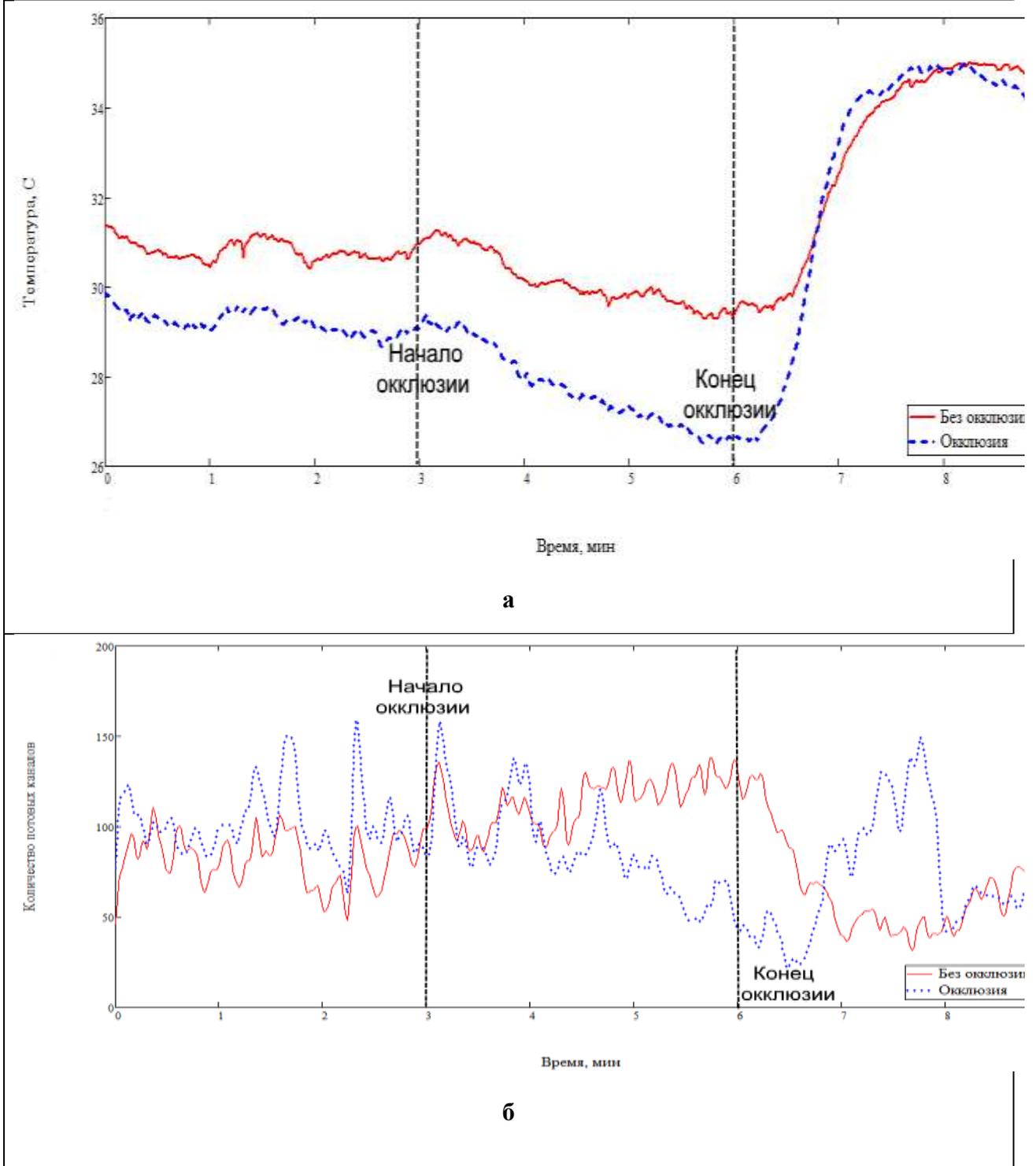


Рис. 5 (а) Зависимость температуры и (б) количества открытых потовых каналов от времени для третьего испытуемого. Красная сплошная линия - указательный палец правой руки без окклюзии, синяя прерывистая линия - указательный палец левой руки с окклюзией на предплечье. На графике отмечен период начала и конца окклюзии.

На рисунках 6, 7, 8 представлены термограммы пальцев первого, второго и третьего испытуемого, область исследования выделена прямоугольником.

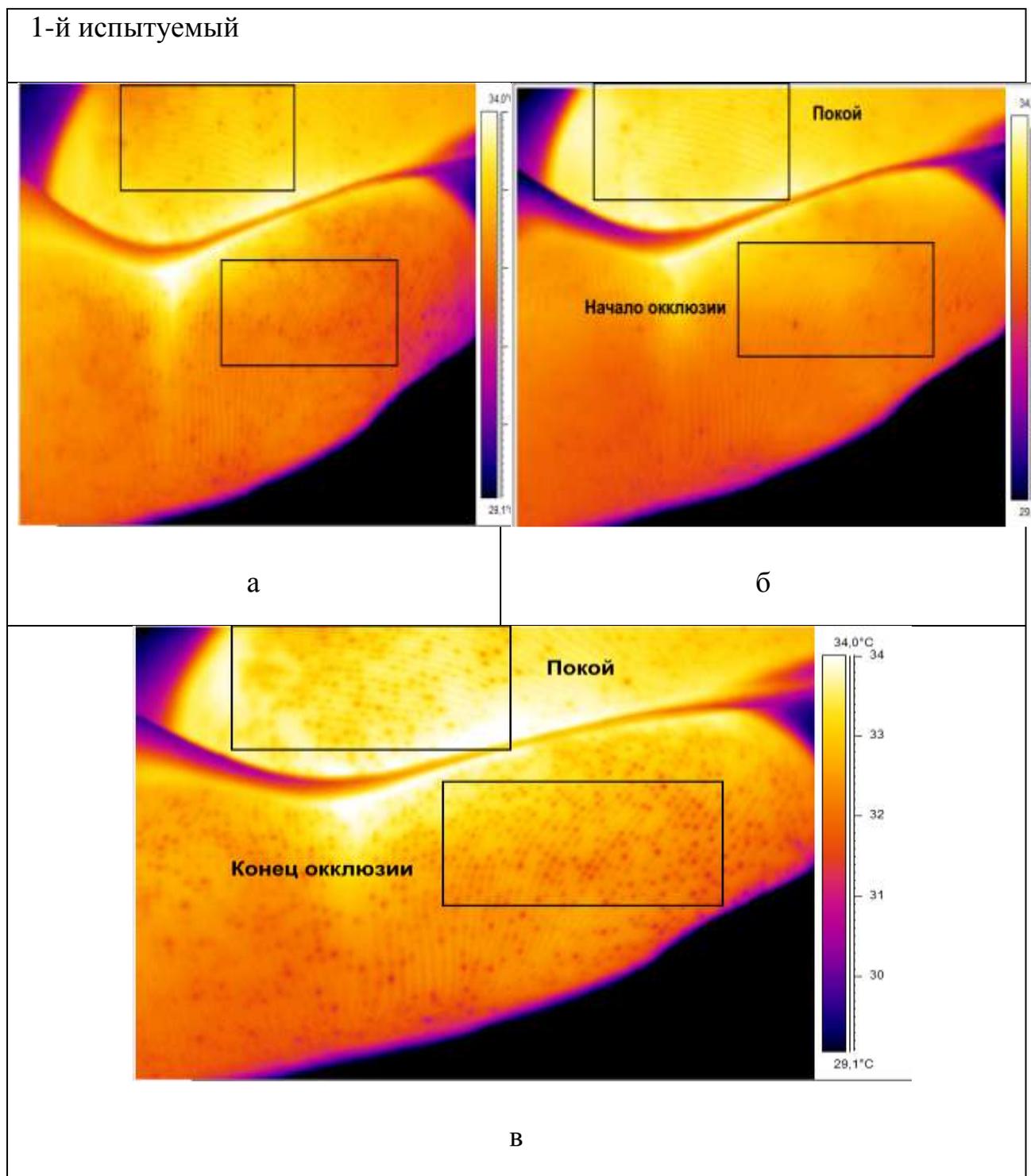


Рис.6 Термограммы пальцев первого испытуемого. (а) - в состоянии покоя, (б)- с окклюзией на левом предплечье, (в) – после снятия окклюзии с левого предплечья.

Обведенные участки-область исследования.

2-й испытуемый

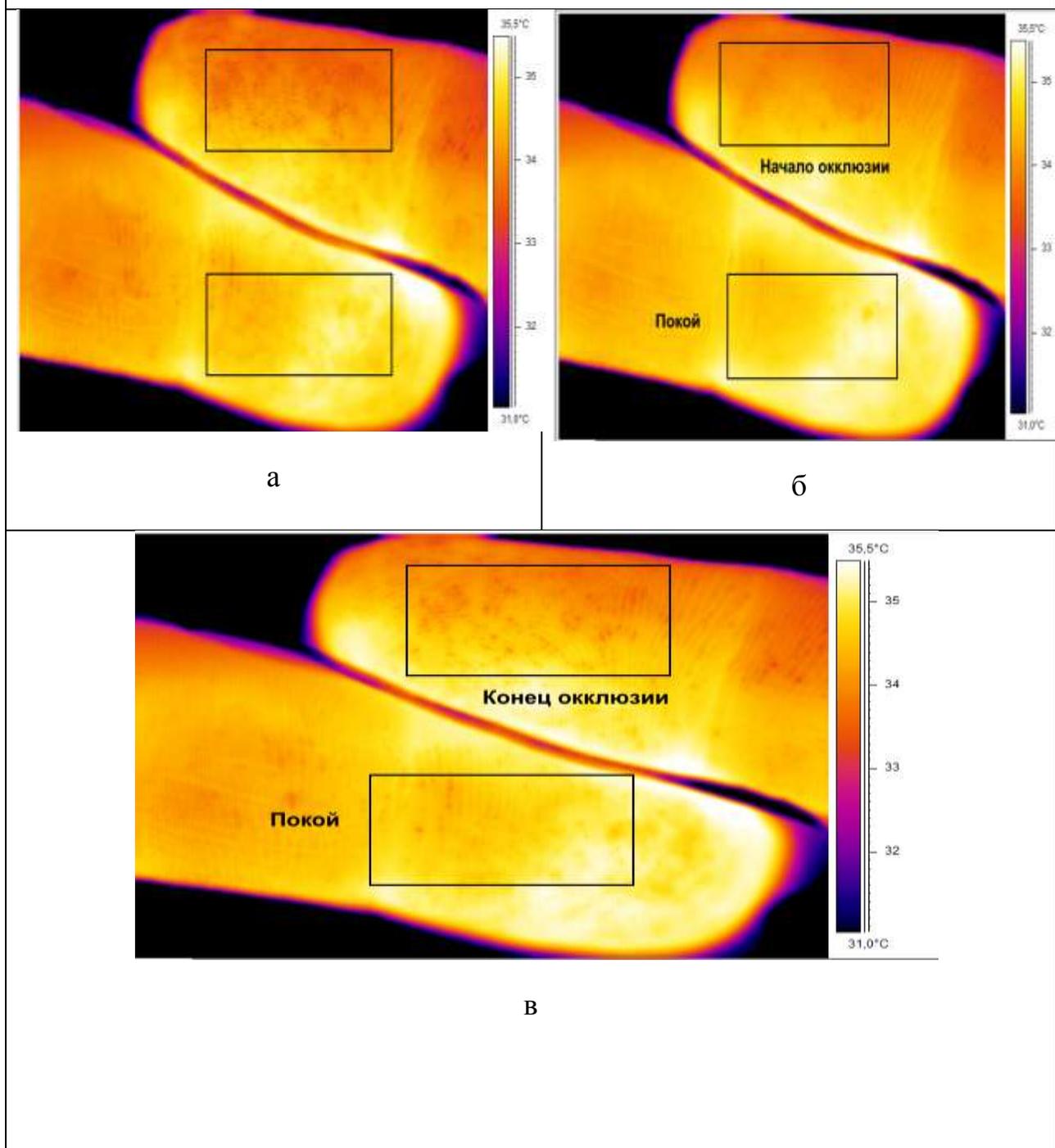


Рис.7 Термограммы пальцев второго испытуемого. (а) - в состоянии покоя, (б)- с окклюзией на левом предплечье, (в) – после снятия окклюзии с левого предплечья.

Обведенные участки-область исследования.

3-й испытуемый

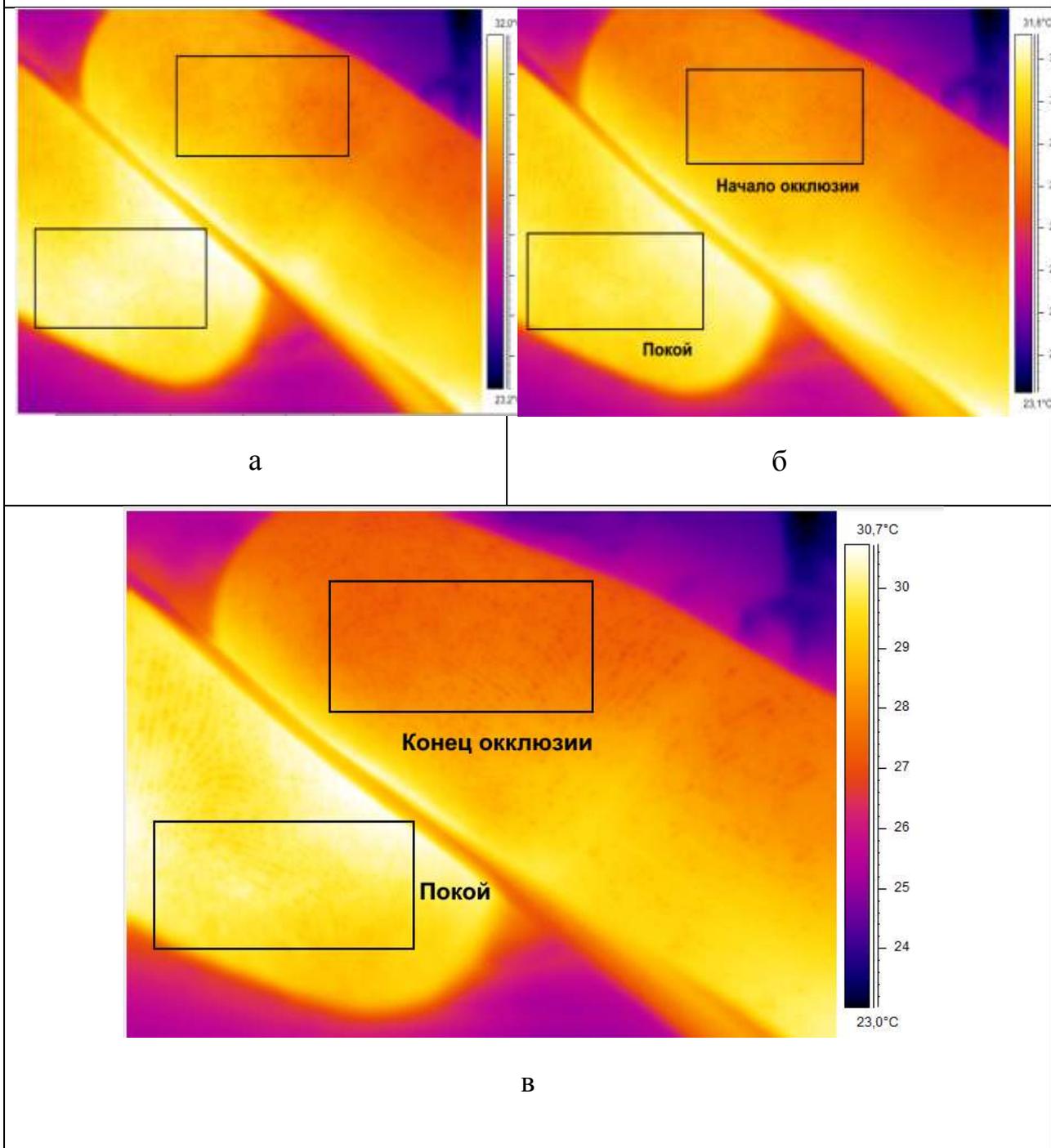


Рис.8 Термограммы пальцев третьего испытуемого. (а) - в состоянии покоя, (б)- с окклюзией на левом предплечье, (в) – после снятия окклюзии с левого предплечья. Обведенные участки-область исследования.

## Заключение

Настоящая магистерская работа делает шаг в изучении активности потовых каналов методом динамической термографии. Разрабатывалась методика исследования и диагностики активности потовых каналов человека с помощью комбинации методов различных нагрузочных проб, в частности, окклюзионной пробы и инфракрасной термографии. Написана программа, которая может количественно анализировать активность потовых каналов. Установлено, что динамика активности потовых каналов в процессе проведения окклюзионной пробы может сопровождаться всплеском активности в начале окклюзии. Планируется проведение новых экспериментов по исследованию. Неинвазивный способ регистрации восприимчивости/невосприимчивости активности потовых каналов человека на нагрузку с помощью метода инфракрасной термографии наиболее безопасен и предпочтителен в медицине. Исследование изменения активности потовых каналов в ответ на различные факторы может помочь в изучении психоэмоционального состояния человека, диагностики состояния клинических пациентов, оценки физической подготовки спортсменов и выявления лжи.