



Резникова Светлана

**ОБРАЗОВАНИЕ ТЕПЛА В  
ТКАНЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
МЕТОДАХ ФИЗИОТЕРАПИИ**

Учебное пособие

**Светлана Резникова**  
**Образование тепла**  
**в тканях при разных**  
**методах физиотерапии**  
Серия «Физиотерапия», книга 2

*<https://litres.ru/73966866>  
SelfPub; 2026*

**Аннотация**

Пособие раскрывает механизмы образования тепла в биологических тканях при различных методах физиотерапии. Основное внимание уделено ключевому принципу: каждое тепловое воздействие имеет свою ткань-мишень, и только понимание биофизических основ превращает рутинную процедуру в осознанный терапевтический акт. Последовательно рассмотрены эндогенное и экзогенное теплообразование, физиологические реакции на локальное нагревание, а также принципы клинического выбора метода. Дан сравнительный анализ методов теплотерапии. Сложные концепции изложены живым и ясным языком, не жертвующим академической строгостью. Клинические задачи и тестовые задания помогают сформировать навык, надежно работающий у постели больного.

Предназначено для студентов медицинских вузов, изучающих дисциплину "Физиотерапия", "Медицинская реабилитация".

Администрация сайта ЛитРес не несет ответственности за представленную информацию. Могут иметься медицинские противопоказания, необходима консультация специалиста.

# Содержание

Краткий путеводитель по главам	5
Введение	11
Глава 1. Физиология терморегуляции и биофизические основы нагрева	14
Глава 2. Классификация физиотерапевтических методов по механизму теплопередачи	24
Глава 3. Контактная электротерапия и экзогенное тепло	30
Конец ознакомительного фрагмента.	33

# **Образование тепла в тканях при разных методах физиотерапии**

## **Краткий путеводитель по главам**

Настоящее пособие построено таким образом, чтобы последовательно провести читателя от фундаментальных биофизических основ к практическому клиническому мышлению, а затем украсить полученные знания любопытными историческими деталями и проверить усвоение материала. Каждая глава решает свою задачу, и знакомство с их кратким содержанием позволит студенту заранее сориентироваться в логике изложения.

Введение задает общий тон пособия и обосновывает важность понимания механизмов теплообразования для будущего врача. В нем говорится о роли физиотерапии в системе восстановительной медицины и о том, почему тепло нельзя рассматривать упрощенно, как нечто единое и неделимое. Здесь же формулируется цель пособия, а именно формирование осознанного подхода к выбору теплового метода, основанного на знании биофизики и физиологии.

Глава первая посвящена базовым понятиям, без которых

невозможно двигаться дальше. В разделе о тепловом гомеостазе разбирается, как организм поддерживает постоянство внутренней температуры и что происходит в тканях в первые секунды после начала нагревания. Особое внимание уделяется механизму активной гиперемии, аксон-рефлексу и роли вазоактивных веществ. Во втором разделе этой главы подробно, но доступно объясняются физические принципы эндогенного теплообразования. Студент знакомится с законом Джоуля Ленца, понятием диэлектрических потерь, поведением дипольных молекул в переменных полях и трансформацией акустической энергии в теплоту.

Глава вторая предлагает классификацию всех тепловых методов физиотерапии по единому основанию, а именно по механизму теплопередачи. Все методы разделены на три большие группы. Кондуктивный нагрев, при котором тепло выделяется при прохождении тока через ткани. Диэлектрический нагрев, использующий энергию переменных электромагнитных полей. И акустический нагрев, основанный на поглощении ультразвуковых волн. Такая классификация служит каркасом для всего последующего изложения.

Глава третья посвящена методам, при которых тепло либо поступает в организм извне, либо генерируется в поверхностных слоях кожи. В первом разделе рассматриваются инфракрасное излучение и локальная теплотерапия, включая парафиновые и озокеритовые аппликации. Объясняется, почему влажное тепло переносится легче сухого и на какую

глубину реально прогреваются покровные ткани. Во втором разделе анализируется тепловой компонент гальванизации и импульсных токов. Студент узнает, почему эти процедуры считаются преимущественно нетепловыми, несмотря на формальное выделение джоулева тепла, и в чем состоит их подлинный лечебный механизм.

Глава четвертая знакомит с индуктотермией, то есть с методом, использующим переменное магнитное поле высокой частоты. Подробно разбирается явление электромагнитной индукции применительно к биологическим тканям, объясняется механизм возникновения вихревых токов Фуко и их избирательное действие на ткани с низким электрическим сопротивлением. Особый акцент делается на том, что индуктотермия греет мышцы и кровь, создавая ощущение глубокого тепла при относительно прохладной коже.

Глава пятая посвящена УВЧ терапии, которая работает в диапазоне ультравысоких частот и использует электрическую составляющую электромагнитного поля. В этой главе раскрывается понятие тока смещения и механизм диэлектрических потерь. Студент поймет, почему УВЧ греет преимущественно жировую клетчатку и соединительнотканые прослойки, тогда как мышцы остаются относительно холодными, а также узнает о феномене жировой ловушки.

Глава шестая охватывает сверхвысокочастотную, или микроволновую, терапию, подразделяющуюся на сантиметровую и дециметровую. Здесь объясняется явле-

ние резонансного поглощения энергии молекулами свободной воды, а также принципиальное различие между сантиметровыми и дециметровыми волнами по глубине проникновения и тканевой избирательности. Затрагивается эффект стоячих волн и связанные с ним меры предосторожности.

Глава седьмая описывает ультразвуковую терапию, которая стоит особняком среди тепловых методов, поскольку использует механические колебания, а не электромагнитные поля. Разбирается механизм трансформации акустической энергии в теплоту внутреннего трения, объясняется избирательный нагрев коллагенсодержащих структур, а также различие между непрерывным и импульсным режимами воздействия.

Глава восьмая является аналитической. В ней собран сводный сравнительный обзор всех тепловых методов по единым критериям, таким как механизм нагрева, ткань-мишень, глубина проникновения и зона риска. Этот материал позволяет увидеть всю систему в целом и облегчает запоминание ключевых различий между методами.

Глава девятая выделяет те парадоксальные и контрастные моменты, которые ярче всего демонстрируют разницу между методами. Эти узловые факты помогают перейти от механического запоминания к подлинному пониманию логики физиотерапевтических воздействий.

Глава десятая формулирует принципы клинического выбора теплового метода. В ней последовательно излагаются

правила, которыми руководствуется врач при переводе клинической задачи в конкретное назначение. Рассматриваются принципы тканевой избирательности, адекватной глубины воздействия, учета сосудистой архитектоники, фазы воспалительного процесса и зональной безопасности.

Глава одиннадцатая содержит разбор практических клинических ситуаций в формате вопросов и развернутых ответов. Первая часть главы посвящена общим сопоставлениям, позволяющим на концептуальном уровне сравнить разные методы, а вторая часть содержит задачи на дифференцированный выбор теплового воздействия при конкретных диагнозах, что служит мостиком между теорией и реальной врачебной практикой.

Глава двенадцатая переносит читателя в мир истории и любопытных фактов. Здесь рассказывается о происхождении терминов, о случайных открытиях, подаривших медицине целые направления, и о неожиданных параллелях между физиотерапевтическими процедурами и естественными физиологическими процессами. Эта глава позволяет увидеть за страницами учебника живую ткань научного поиска.

Заключение подводит итог всему пособию, еще раз акцентируя внимание на центральной идее, а именно на том, что тепло в физиотерапии представляет собой не монолитную субстанцию, а сложный спектр биофизических взаимодействий, и только понимание этого спектра делает врача подлинным специалистом.

В конце пособия размещены вопросы для самоконтроля и тестовые задания, охватывающие материал всех глав. Вопросы, числом двадцать, выстроены последовательно, следуя логике изложения. Тестовые задания, числом десять, позволяют быстро и объективно оценить степень усвоения ключевых положений. Ответы к тестам приведены в конце блока, что дает возможность студенту самостоятельно проверить свои знания и при необходимости вернуться к тем разделам, которые требуют дополнительной проработки.

# Введение

Физиотерапия занимает прочное место в системе восстановительной медицины и клинической практики, предлагая врачу инструменты, основанные на естественных и преформированных физических факторах. Ценность этих методов заключается не в противопоставлении фармакотерапии или хирургическому вмешательству, а в способности запускать саногенетические механизмы самого организма, мобилизуя его резервы на борьбу с патологическим процессом. Среди всего многообразия лечебных эффектов, таких как противовоспалительный, анальгетический или трофический, тепловой компонент занимает особое место. Именно образование тепла в тканях часто выступает тем универсальным пусковым ключом, который открывает каскад сложнейших физиологических реакций.

Понимание механизма термического воздействия выходит далеко за рамки примитивного представления о прогревании. Тепло, независимо от источника, становится триггером для усиления микроциркуляции, ускорения энзиматических реакций, изменения проницаемости клеточных мембран и модуляции возбудимости нервных проводников. Возникающая активная гиперемия, связанная с аксон-рефлексом и высвобождением вазоактивных медиаторов, превращает локальный нагрев в системный ответ сегментарного и

надсегментарного уровня регуляции. Следовательно, грамотное применение физиотерапевтического тепла позволяет мягко корректировать гомеостаз, создавая оптимальные условия для репарации и регенерации без грубого вторжения во внутреннюю среду организма.

Однако для будущего специалиста критически важно осознавать, что тепло теплу рознь. Данное утверждение является краеугольным камнем современной физиотерапии и отражает фундаментальную разницу в биофизических механизмах, лежащих в основе различных методов. Организм человека представляет собой гетерогенную среду, где структуры с высокой проводимостью соседствуют с типичными диэлектриками. Поэтому электрический ток, высокочастотное электромагнитное поле, сверхвысокочастотное излучение или ультразвуковые колебания порождают термический эффект принципиально разными путями. В одном случае тепло возникает за счет джоулевых потерь при прохождении ионов через тканевые барьеры, в другом — за счет диэлектрического гистерезиса или релаксационных колебаний молекул воды и белков. Именно это различие объясняет, почему при индуктотермии преимущественно нагревается мышечный массив, а при ультразвуковом воздействии — плотные соединительнотканые элементы, такие как надкостница и сухожилия.

Для студентов четвертого курса медицинской академии, только начинающих системное изучение дисциплины, усво-

ение этой биофизической логики представляется насущной необходимостью. Без четкого понимания того, какая именно структура становится акцептором тепла и на какой глубине формируется температурный градиент, невозможно перейти от эмпирического назначения процедур к осмысленной патогенетической терапии. Формальное знание методик, не подкрепленное разбором физиологии тепловых процессов, обесценивает врачебный подход и повышает риск осложнений. Цель настоящего пособия заключается в том, чтобы последовательно, начиная от молекулярных взаимодействий и заканчивая клиническими рекомендациями, сформировать у обучающихся целостное представление о механизмах эндогенного теплообразования. Такой подход позволяет рассматривать физиотерапию не как набор разрозненных техник, а как стройную систему, основанную на законах физики и физиологии.

# **Глава 1. Физиология терморегуляции и биофизические основы нагрева**

## **Раздел 1.1. Тепловой гомеостаз и первичные тканевые реакции на нагревание**

Поддержание постоянства внутренней температуры относится к базовым физиологическим константам, без которых невозможно нормальное протекание метаболических процессов. В клинической физиотерапии искусственное локальное повышение температуры тканей рассматривается не как стрессовый фактор, а как управляемый стимул, запускающий каскад компенсаторных и адаптационных реакций. Чтобы понимать лечебное действие тепла, необходимо сначала разобраться в том, как организована система терморегуляции и что происходит в тканях в первые секунды нагревания.

Температурное поле организма неоднородно. Принято выделять гомойотермное ядро, куда входят внутренние органы грудной, брюшной полостей и головной мозг, и пойкилотермную оболочку, представленную кожей, подкожной клетчаткой и поверхностными мышцами. Температура оболочки колеблется в зависимости от внешних условий и интенсивности кровотока, тогда как температура ядра удерживается в узком диапазоне около тридцати семи градусов. Градиент

между ядром и оболочкой создается за счет того, что теплопроводность биологических тканей относительно невысока, а главным переносчиком тепла внутри организма выступает кровь. Сосудистая сеть работает как распределительная система, способная либо отдавать тепло во внешнюю среду через расширенные кожные сосуды, либо сохранять его за счет сужения периферического русла.

Когда в ограниченную область тела поступает физиотерапевтический фактор, несущий тепловую энергию, первыми на это реагируют микроциркуляторные структуры. Расширение артериол, прекапилляров и капилляров приводит к резкому увеличению объемного кровотока в зоне воздействия. Этот феномен носит название активной, или рабочей, гиперемии, подчеркивая тот факт, что сосуды раскрываются не пассивно под напором крови, а вследствие активного расслабления гладкомышечных элементов сосудистой стенки. Ведущую роль в запуске такой реакции играют два механизма. Первый из них является нервно-рефлекторным. Тепловое раздражение терминалей чувствительных нервных волокон вызывает аксон-рефлекс, при котором импульс, возникший в месте нагревания, распространяется не только в центральном направлении, но и антидромно, по веточкам того же аксона к соседним сосудам. В окончаниях этих волокон высвобождаются вазоактивные субстанции, прежде всего кальцитонин-ген-родственный пептид и субстанция P, которые непосредственно вызывают дилатацию артериол.

Второй механизм связан с гуморальным звеном регуляции. Повышение температуры изменяет метаболическую активность клеток. Даже незначительный подъем локальной температуры на один-два градуса ускоряет ферментативные реакции, в результате чего в интерстициальном пространстве накапливаются продукты клеточного обмена. Углекислота, молочная кислота, ионы калия и аденозин действуют как мощные местные вазодилататоры, напрямую воздействуя на прекапиллярные сфинктеры. Параллельно активируются тучные клетки и базофилы, выбрасывающие в окружающую среду гистамин и гепарин. Гистамин кратковременно повышает проницаемость капиллярной стенки, что облегчает выход жидкости и белков плазмы в ткани, а гепарин улучшает реологические свойства крови. Все перечисленные процессы развиваются последовательно и почти одновременно, наслаиваясь друг на друга.

Внешне активная гиперемия проявляется покраснением кожи над зоной прогревания, повышением ее температуры и ощущением приятного тепла. Однако важно понимать, что гиперемия, вызванная физиотерапевтическим теплом, не ограничивается поверхностными покровами. Реакция сосудистого русла по сегментарному типу захватывает глубже расположенные органы и ткани, получающие иннервацию из тех же сегментов спинного мозга. Именно этот механизм лежит в основе кожно-висцеральных рефлексов, благодаря которым поверхностное прогревание способно влиять на кро-

воснабжение внутренних органов.

Отдельного внимания заслуживает динамика теплового баланса непосредственно в облучаемой или контактно нагреваемой зоне. Усиленный кровоток выполняет двоякую функцию. С одной стороны, он приносит кислород и субстраты окисления, необходимые для восстановительных процессов, и удаляет продукты распада. С другой стороны, движущаяся кровь действует как эффективный теплоноситель, отводя избыток тепла от места его первичного поглощения. Этот феномен предохраняет ткани от локального перегрева и одновременно способствует распространению теплового воздействия за пределы первоначального очага. Способность кровотока выравнять температуру зависит от степени васкуляризации ткани. Мышцы с их обильной капиллярной сетью быстро рассеивают полученное тепло, тогда как жировая клетчатка, относительно бедная сосудами, удерживает его значительно дольше и прогревается глубже. Эта особенность сосудистой архитектоники напрямую влияет на выбор метода физиотерапии и на ожидаемую глубину эффективного прогревания при различных процедурах.

Таким образом, первичная реакция на нагревание представляет собой сложный нейрогуморальный ответ, интегрирующий сосудистый, метаболический и рефлекторный компоненты. Понимание этой последовательности позволяет осознать, что локальное тепло в физиотерапии является не самоцелью, а пусковым стимулом для цепи физиологиче-

ских событий, итогом которых становятся улучшение трофики, анальгезия и активация репаративных процессов.

## **Раздел 1.2. Физическая сущность эндогенного теплообразования**

Предыдущий раздел был посвящен тому, как ткани реагируют на поступление тепла. Теперь необходимо рассмотреть фундаментальный вопрос, каким образом это тепло возникает непосредственно внутри организма под действием физических факторов. Когда физиотерапевтическая аппаратура передает энергию телу пациента, она не вносит тепло в готовом виде, за исключением методов контактной тепло-терапии вроде парафиновых аппликаций. В подавляющем большинстве аппаратных методик тепло рождается прямо в глубине тканей в результате преобразования электрической, электромагнитной или механической энергии в тепловую. Такой способ нагрева называют эндогенным, подчеркивая внутреннее происхождение тепловой энергии. Чтобы разобраться в различиях между методами, студенту необходимо усвоить несколько базовых физических закономерностей, объясняющих поведение биологических структур в различных полях.

Первый и наиболее простой для понимания механизм описывается законом Джоуля Ленца. Этот закон определяет количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении по нему электрического тока. Формула связывает тепловую энергию с квадратом силы тока, электрическим

сопротивлением среды и длительностью воздействия. В биологических системах роль проводника выполняют тканевые жидкости, межклеточный матрикс и цитоплазма клеток, содержащие растворенные ионы натрия, калия, кальция и хлора. Такие среды называют проводниками второго рода, или электролитами. Когда под действием приложенного напряжения ионы приходят в направленное движение, они испытывают сопротивление со стороны окружающих молекул, сталкиваются с ними и передают им часть своей кинетической энергии. На микроскопическом уровне это выглядит как усиление хаотических колебаний атомов и молекул, что и регистрируется макроскопически как повышение температуры. Данный механизм играет определяющую роль при низкочастотных и импульсных токах, а также вносит вклад в нагрев проводящих структур при высокочастотной терапии.

Однако организм состоит не только из проводников. Многие анатомические образования, такие как жировая ткань, кость, сухожилия и роговой слой эпидермиса, обладают свойствами, близкими к диэлектрикам. Диэлектриками в физике называют вещества, практически не проводящие электрический ток из-за отсутствия свободных заряженных частиц. В подобных структурах джоулево тепло почти не выделяется, но это не означает, что они остаются холодными при электромагнитных воздействиях. Здесь вступает в действие второй фундаментальный механизм, а именно диэлектрические потери, возникающие при переориентации ди-

польных молекул в переменном электрическом поле.

Молекула воды представляет собой классический диполь. Атомы водорода расположены под углом друг к другу, и электронная плотность смещена к атому кислорода, в результате чего один конец молекулы несет частичный отрицательный заряд, а противоположный — частичный положительный. Подобной полярностью обладают также боковые группы многих аминокислот, входящих в состав белков, и фосфолипиды клеточных мембран. В постоянном электрическом поле диполи просто выстраиваются вдоль силовых линий, но в переменном поле, когда направление поля меняется с высокой частотой, диполи вынуждены непрерывно поворачиваться, синхронизируясь с этими изменениями. Каждый такой поворот требует энергии на преодоление межмолекулярного трения и сил вязкости. Затраченная энергия поля не возвращается обратно в электрическую цепь, а безвозвратно рассеивается в виде тепла. Этот процесс называют релаксационными потерями или диэлектрическим нагревом.

Принципиально важно понимать, что интенсивность диэлектрического нагрева неодинакова для разных тканей и зависит от частоты поля. На относительно низких частотах, характерных для аппаратов УВЧ терапии, молекулы воды успевают полностью повернуться вслед за изменениями поля. Потери здесь умеренные, но поскольку вода присутствует практически во всех тканях, нагрев оказывается достаточно равномерным. Особенность заключается в том, что в плот-

ных белковых структурах, таких как сухожилия или костная ткань, крупные белковые молекулы и связанная с ними вода ограничены в подвижности. Их поворот требует значительно больших затрат энергии и сопровождается сильным внутренним трением. Поэтому в поле УВЧ костная и фиброзная ткани могут нагреваться даже интенсивнее, чем окружающие мышцы, что составляет суть феномена избирательного нагрева диэлектриков.

При переходе в диапазон сверхвысоких частот, используемый в СВЧ терапии, ситуация меняется. Частота колебаний поля становится настолько высокой, что тяжелые белковые молекулы просто не успевают реагировать на него и остаются практически неподвижными. В то же время маленькие и подвижные молекулы свободной воды продолжают интенсивно вращаться, поглощая энергию поля. Здесь вступает в силу эффект резонансного поглощения, когда частота внешнего воздействия совпадает с собственной частотой релаксации молекул воды. Следовательно, в микроволновом диапазоне максимальный нагрев наблюдается в тканях с высоким содержанием свободной воды, а именно в мышцах и паренхиматозных органах, тогда как жир и кость остаются относительно интактными. Это принципиальное отличие необходимо четко осознавать, поскольку оно объясняет разницу в глубине и локализации прогревания между процедурами УВЧ и СВЧ.

Третий механизм эндогенного теплообразования реали-

зуется при ультразвуковой терапии. Источником энергии здесь служат высокочастотные механические колебания, распространяющиеся в среде в виде продольных волн разрежения и сжатия. По своей физической сути ультразвук представляет собой акустические волны, выходящие за пределы слышимого диапазона. При прохождении такой волны через ткань частицы среды совершают колебательные движения относительно положения равновесия. Между соседними слоями ткани, колеблющимися с разной амплитудой и фазой, возникает внутреннее трение. Кроме того, часть акустической энергии поглощается крупными белковыми макромолекулами, которые приходят в состояние вибрации. Преобразование механической энергии колебаний в тепловую происходит наиболее эффективно в структурах с высоким акустическим сопротивлением, в первую очередь в коллагенсодержащих тканях. Именно поэтому при ультразвуковом воздействии максимальный нагрев регистрируется на границе раздела сред с разной плотностью, например в области надкостницы, в местах прикрепления сухожилий к кости, в фиброзных капсулах суставов и в рубцовой ткани. Этот механизм, основанный на поглощении акустических волн и трансформации их в тепло, называют термальным компонентом ультразвукового воздействия.

Таким образом, эндогенное тепло в физиотерапии может образовываться тремя принципиально разными путями. Первый путь состоит в джоулевых потерях при прохождении

ионных токов через электропроводящие жидкие среды. Второй путь реализуется через диэлектрические потери при повороте полярных молекул в переменных электромагнитных полях, причем в зависимости от частоты поля акцент нагрева смещается либо на фиксированные белковые диполи плотных тканей, либо на свободные молекулы воды. Третий путь заключается в поглощении механических акустических колебаний с трансформацией их в теплоту внутреннего трения. Четкое понимание этих трех физических механизмов служит фундаментом для осознанного выбора метода физиотерапии, поскольку каждый из них адресует тепловую энергию строго определенным гистологическим структурам.

## **Глава 2. Классификация физиотерапевтических методов по механизму теплопередачи**

После того как рассмотрены базовые физические принципы превращения различных видов энергии в теплоту, а также первичные физиологические реакции тканей на нагревание, возникает необходимость систематизировать полученные знания. Многообразие существующих физиотерапевтических методик на первый взгляд способно дезориентировать начинающего специалиста. Однако если в основу классификации положить не внешние признаки вроде формы электродов или названия аппарата, а фундаментальный способ доставки энергии и механизм ее конверсии в тепло, вся система методов приобретает стройность и логическую завершенность. Именно такой подход позволяет сформировать клиническое мышление, при котором выбор процедуры становится осознанным и прогнозируемым по результату.

Все методы физиотерапии, связанные с образованием тепла в тканях, можно разделить на три большие группы в зависимости от того, каким путем тепловая энергия появляется в организме. Первую группу составляют методы, основанные на проведении электрического тока через ткани пациента. Здесь тепло выделяется непосредственно в про-

водящих структурах тела по закону Джоуля Ленца, и глубина, локализация нагрева определяются распределением токовых линий и электрическим сопротивлением различных анатомических образований. Вторая группа объединяет методы, использующие переменные электромагнитные поля высокой, ультравысокой и сверхвысокой частоты. При этих воздействиях ткани нагреваются не за счет прямого прохождения тока между электродами, а благодаря колебаниям заряженных частиц и дипольных молекул, захваченных переменным полем. Третья группа представлена ультразвуковой терапией, где источником тепла служит механическая энергия акустических волн, трансформирующаяся в теплоту за счет внутреннего трения колеблющихся структур.

Первую классификационную группу уместно обозначить как кондуктивный нагрев, или нагрев проводимости. Ключевым физическим условием здесь выступает наличие замкнутой электрической цепи, частью которой становится тело пациента. Между двумя электродами, наложенными на кожу, протекает электрический ток, и выделение тепла происходит в соответствии с величиной силы тока и сопротивлением тканевого участка, находящегося на пути заряженных частиц. К этой группе относятся классическая гальванизация, диадинамотерапия, амплипульстерапия и другие разновидности низкочастотной и импульсной электротерапии. Тепловой эффект данных методик обычно выражен слабо, поскольку сила тока ограничена требованиями безопасно-

сти и комфорта пациента, а большая часть напряжения падает на роговом слое эпидермиса, обладающем максимальным сопротивлением. Тем не менее при определенных параметрах, особенно при использовании токов надтональной частоты или при глубоком расположении электродов в полостных методиках, джоулево тепло может вносить значимый вклад в суммарный лечебный эффект. Отдельного упоминания в рамках этой группы заслуживает индуктотермия. Она формально относится к высокочастотным методам, однако физическая сущность нагрева здесь та же джоулева. Разница лишь в том, что электрический ток не подводится извне через контактные электроды, а наводится переменным магнитным полем прямо в толще тканей по принципу электромагнитной индукции. Возникающие вихревые токи Фуко циркулируют в хорошо проводящих жидких средах, и тепло выделяется там, где электропроводность выше всего.

Вторую классификационную группу формируют методы диэлектрического нагрева. Они не требуют непосредственного электрического контакта с телом, а используют энергию переменного электромагнитного поля, которое создается между обкладками конденсатора или излучается антенной в пространство. Ткани при этом ведут себя не как проводники, включенные в цепь, а как совокупность диэлектриков, помещенных в быстро меняющееся электрическое поле. Нагрев происходит благодаря двум параллельно идущим процессам. С одной стороны, ионы, содержащиеся в

тканевых жидкостях, колеблются с частотой поля, и эти колебания, встречая сопротивление среды, дают небольшой джоулев компонент. С другой стороны, полярные молекулы, прежде всего молекулы воды и боковых групп аминокислот, совершают вынужденные повороты, отставая по фазе от изменения поля. Энергия, затрачиваемая на преодоление межмолекулярного трения при этих вращениях, рассеивается в виде тепла, причем ее количество определяется диэлектрическими свойствами конкретной ткани и частотой колебаний. К данной группе относятся УВЧ терапия, использующая конденсаторные пластины и работающая в диапазоне ультравысоких частот, а также микроволновая терапия, подразделяющаяся на сантиметроволновую и дециметроволновую. Принципиальное различие между УВЧ и СВЧ методами внутри одной группы состоит в том, какая именно ткань становится преимущественной мишенью нагрева. На ультравысоких частотах активно колеблются не только мелкие молекулы воды, но и крупные белковые диполи, поэтому хорошо прогреваются плотные соединительнотканые образования. На сверхвысоких частотах тепловым акцептором выступает практически исключительно свободная вода, что смещает максимум нагрева в мышцы и паренхиму.

Третью классификационную группу составляет ультразвуковой нагрев, который правильнее называть акустическим или вязкоупругим. Ультразвуковая волна представляет собой механическое возмущение среды, распространяю-

щеся в виде чередующихся зон сжатия и разрежения. При прохождении такой волны через биологическую ткань частицы вещества вовлекаются в колебательное движение, амплитуда и направление которого зависят от упругих свойств среды. Поскольку реальные биологические ткани не являются идеально упругими телами, часть механической энергии волны поглощается, переходя в тепло. Основным механизмом поглощения выступает внутреннее трение между соседними микроучастками, колеблющимися с разной фазой, а также релаксация напряжений в макромолекулярных структурах. Особенность ультразвукового нагрева заключается в его выраженной избирательности по отношению к структурам с высоким содержанием коллагена. Сухожилия, фасции, надкостница, фиброзные капсулы и рубцовая ткань поглощают акустическую энергию значительно активнее, чем мышечные волокна или жировая клетчатка. Кроме того, на границе раздела сред с различным акустическим сопротивлением, например на контакте мягких тканей и кости, возникает эффект отражения волны, приводящий к локальному увеличению плотности энергии и более интенсивному нагреву пограничного слоя.

Практическая ценность данной классификации выходит за рамки академического упорядочивания сведений. Каждый из трех описанных механизмов теплопередачи имеет собственную точку приложения, то есть адресует тепловую энергию определенным гистологическим элементам. Кон-

дуктивный нагрев низкочастотными и импульсными токами распределяется вдоль путей наименьшего сопротивления, которыми служат кровеносные и лимфатические сосуды, межфасциальные пространства, заполненные жидким содержимым. Индуктотермия греет преимущественно мышечную ткань и кровь за счет вихревых токов, циркулирующих в хороших проводниках. Диэлектрический нагрев в поле УВЧ направлен на мембранные структуры, коллагеновые волокна и границы раздела разнородных по электрическим свойствам слоев. Микроволны избирательно разогревают структуры, богатые свободной водой. Ультразвук же концентрирует тепловую энергию в коллагенсодержащих образованиях и особенно интенсивно греет надкостницу. Таким образом, выбирая метод, врач фактически выбирает ту ткань или структуру, которую необходимо прогреть для достижения лечебного эффекта, и одновременно минимизирует тепловую нагрузку на соседние анатомические области. Такой подход превращает назначение физиотерапии из рутинной процедуры в акт клинического мышления, основанного на знании биофизики и понимании тканевых реакций.

# Глава 3. Контактная электротерапия и экзогенное тепло

## Раздел 3.1. Инфракрасное излучение и локальная теплотерапия

Инфракрасное излучение и методы локальной теплотерапии, такие как аппликации парафина или озокерита, объединены общим принципом доставки тепловой энергии. Во всех перечисленных случаях тепло не генерируется внутри организма под действием электрического тока или электромагнитного поля, а поступает в него извне от предварительно нагретого материального агента. Такой способ нагрева называют экзогенным, подчеркивая внешнее происхождение тепловой энергии. Несмотря на кажущуюся простоту данного подхода, физические механизмы передачи тепла от теплоносителя к биологическим тканям заслуживают детального рассмотрения, поскольку именно они определяют глубину, интенсивность и безопасность процедуры.

Перенос тепла от нагретого агента к поверхности тела осуществляется посредством трех фундаментальных физических процессов, а именно теплопроводности, конвекции и лучеиспускания. Теплопроводность представляет собой передачу кинетической энергии от более подвижных молекул

нагретого вещества к менее подвижным молекулам кожи через прямой контакт. Интенсивность этого процесса определяется градиентом температур и коэффициентом теплопроводности контактирующих сред. Конвекция подключается в тех случаях, когда теплоноситель сохраняет текучесть и его частицы могут перемещаться, постоянно обновляя контактный слой у поверхности кожи. Лучеиспускание, или радиационный перенос, характерно для инфракрасных излучателей и представляет собой передачу энергии посредством электромагнитных волн, не требующую непосредственного соприкосновения источника с телом.

Локальная теплотерапия с использованием твердых или вязкопластичных сред, таких как парафин и озокерит, опирается главным образом на механизм теплопроводности. Расплавленный парафин наносят на кожу в виде аппликации или наслаивания, после чего он начинает остывать, отдавая накопленную теплоту подлежащим тканям. Ключевой физической характеристикой, определяющей эффективность такой процедуры, является теплоемкость вещества. Теплоемкость количественно характеризует способность материала запасать тепловую энергию при повышении температуры. Парафин и особенно озокерит, содержащий минеральные масла и смолы, обладают значительно более высокой теплоемкостью, чем воздух или сухая ткань. Именно поэтому расплавленная парафиновая масса, нагретая до пятидесяти пяти градусов, при контакте с кожей отдает тепло медленно и

дозированно. Кожа успевает рассеивать поступающую энергию за счет усиливающегося кровотока, не достигая порога термического повреждения. Если бы ту же температуру имел металлический предмет с низкой теплоемкостью, ожог произошел бы немедленно вследствие быстрой отдачи малого, но концентрированного запаса энергии.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.