

Технология ЛДМ в решении эстетических и дерматологических проблем.

Основы лечения целлюлита с применением технологии LDM®

Д-р естественных наук Илья Кругликов, ВЕЛЛКОМЕТ ГмбХ, Карлсруэ, Германия

ВВЕДЕНИЕ

Целлюлит – это косметическая проблема, которая касается более 85% женщин в возрасте старше 20 лет /1/ и может проявляться в выступающих зонах нижней части тела, в области бедер и ягодиц, а также живота. Морфологические и структурные изменения при целлюлите более разнообразны, чем при ожирении; и не могут быть объяснены исключительно гипертрофией и гиперплазией адипоцитов.

Особенно большие различия наблюдаются в архитектуре соединительной ткани и в обмене веществ. Структурные изменения в значительной степени связаны с распределением коллагеновых волокон. Можно считать доказанным тот факт, что при целлюлите значительное количество (более 20%) коллагеновых волокон расположено вертикально по отношению к поверхности кожи, при том, что у женщин без целлюлита коллагеновая сеть расположена преимущественно параллельно поверхности кожи /2/. Соединительная ткань с такой структурой не может противостоять давлению увеличенной в объеме жировой ткани и с наибольшей вероятностью виновна в появлении типичной картины целлюлита.

В то же время в последние годы становилось все более очевидно, что при целлюлите обмен коллагена значительно изменен, и это изменение может иметь основное значение для появления целлюлита. Для дифференцирования адипоцитов и, соответственно, возникновения гиперплазии сначала должны активироваться специальные протеиназы (так называемые матриксные металлопротеиназы, ММП), которые затем разрушают межклеточный матрикс. Если окружающее пространство свободно, адипоциты могут расширяться и пролиферировать. /3/. Это свидетельствует о том, что концентрация различных ММП при целлюлите может расходиться с нормальными показателями. Такие изменения ММП-2 (желатиназа А) и ММП-9 (желатиназа В) уже давно известны /4, 5/. Кроме того, должен при адипогенезе быть нарушен обмен веществ для ММП-3 (стромелизин-1) /6/. Как желатиназа, так и стромелизин-1 могут разлагать не только коллаген и эластин, но и протеогликан, влияя, таким образом, на содержание воды в ткани.

При целлюлите концентрация протеогликанов, связывающих воду, значительно увеличивается /7/. Это породило теорию о том, что такое увеличение может привести к повышению осмотического давления в интерстициальном пространстве и накоплению жидкости в ткани при целлюлите /8/. Такое повышение давления может вызвать вазоконстрикцию и, вследствие этого, гипоксию в ткани, что ведет к появлению отеков с характерным эффектом апельсиновой корки. В отличие от старых теорий представляется, что накопление воды является не первичным, а вторичным явлением и что оно только отражает нарушения обмена веществ в соединительной ткани.

Тем самым, становится все более очевидно, что в появлении целлюлита виновны определенные изменения обмена коллагена, архитектуры соединительной ткани, а также усиление адипогенеза /9/. Нельзя исключать, что первопричины, вызывающие это явление, в разных случаях могут быть различны.

Таким образом, можно сказать, что у целлюлита два лица, в связи с чем его можно назвать Янусом. В зависимости от того, какой из компонентов (соединительная или жировая ткань) более сильно выражен, могут возникать различные проявления целлюлита. Определение первопричины чрезвычайно важно для достижения оптимальных результатов лечения: например, интенсивная обработка жировой ткани не имеет смысла, если затронута преимущественно соединительная ткань. Это может объяснить, почему многофункциональные процедуры, как например, пульсирующий вакуумный массаж, как правило, оказывает на целлюлит лишь ограниченное действие. Это объяснение представляет собой основу эффективной комбинации различных видов процедур, обеспечивающей оптимальное соотношение воздействия на соединительную и жировую ткани.

МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ

Описание

Для лечения целлюлита были предложены различные методы, в том числе мероприятия по снижению веса, разные методы массажа, обертывания, свето-, электро- и ультразвуковая терапия, а также местное применение различных препаратов (наиболее современными из которых являются ретиноиды).

Каждый из таких методов лечения (помимо чисто внешнего улучшения состояния кожи, которое, в сущности, не оказывает влияния на расположенные глубоко структуры ткани и должно было бы называться маскировкой целлюлита) должен обеспечивать определенное стабильное улучшение состояния кожи при целлюлите. До сих пор ...

ЛЕЧЕНИЕ НОЖНОЙ ЯЗВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LDM®.

Д-р естественных наук Илья Кругликов, ВЕЛЛКОМЕТ ГмбХ, Карлсруэ, Германия,
д-р медицинских наук Петер Хольцшу, Оптима Клиник, Карлсруэ, Германия

ВВЕДЕНИЕ

Хронические язвы по всем мире являются одной из важнейших проблем, связанных со здоровьем, не только из-за их устойчивости к терапии, но и в связи с постоянно возрастающей нагрузкой на здоровье. Такие язвы обычно бывают связаны с определенными заболеваниями и медленно лечатся даже при оптимальном лечении.

Около 70% всех хронических язв можно разделить на три группы: пролежни (dekubitus), диабетические и венозные язвы (ulcus cruris). Несмотря на то, что язвы могут иметь различные причины, их заживление сопровождается одними и теми же процессами:

- Воспаление,
- Восстановление кровеносных сосудов,
- Образование грануляционной ткани,
- и затем реэпитализация.

Это развитие тесно связано с основными процессами обмена коллагена, а также с нарушением баланса между формированием (за счет мезенхимальных клеток) и отмиранием (за счет различных энзимов из семейства матриксных металлопротеиназ – ММП) соединительной ткани. При этом наиболее важным фактором видится то, что такие клетки кожи, как кератиноциты и фибробласты, дифференцируются, делятся и могут свободно перемещаться в направлении раны.

При интенсивном формировании матрикса за счет фибробластов происходит образование контрактильных коллагеновых структур, которые откладываются в грануляционной ткани. Правильное протекание этого этапа эволюции раны очень важно, т.к. коллагеновые волокна при прохождении этой фазы должны быть направлены в сторону затягивания раны. При неправильном протекании данного этапа может сформироваться рубцовая ткань с типичным хаотическим расположением коллагеновых структур. После пролиферации фибробластов происходит нормальное развитие, сопровождаемое массовым отмиранием миофибробластов вследствие апоптоза /1/. Это играет решающую роль в предотвращении образования гипертрофированных рубцов или келоидов.

Различные ММП, а также их антагонисты (тканевые ингибиторы металлопротеиназы, ТИМП) включены в процессы заживления раны. /2, 3/. Так, было установлено значительное увеличение концентрации ММП-1 (коллагеназы-1) и ММП-3 (стромелизина-1) в базальных кератиноцитах и дермальных фибробластах, а также активизация ММП-2 (желатиназы А) в основании раны. В обычном состоянии клетки находятся в окружении относительно прочных структур соединительной ткани, механически ограничивающих их дифференциацию и подвижность. Активизация определенных ММП необходима для того, чтобы эти клетки могли свободно перемещаться. При этом особую роль играет ММП-1 – энзим, определяющий тройную структуру коллагена в форме объемной спирали и разделяющий ее на два типичных окончательных фрагмента. При физиологической температуре эти фрагменты деградируют до желатина, при этом происходит изменение формы от объемной к плоской спирали. Эти процессы управляются желатиназами. Если концентрация ММП в течение длительного времени остается патологически высокой, это может привести к образованию хронической язвы, т.к. энзимы со временем могут разлагаться на вновь создаваемые матриксные структуры.

МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ

Что между ними общего?

Для лечения хронических язв применялись разные методы физиотерапии. К ним среди прочих относится эластокомпрессия, электростимуляция, ультразвук, лазер (т.н. лазерная терапия низкого уровня, LLLT), магнитная терапия и т.д. Далее мы предлагаем кратко проанализировать некоторые общие принципы этих методов с точки зрения их влияния на обмен коллагена в ране.

Один из наиболее значимых методов лечения ножной язвы - это эластокомпрессия. Эта терапия среди прочего характеризуется сильным ингибирующим воздействием на активность ММП-2 в ткани. Одновременно за счет этой компрессии могут быть существенно дезактивированы другие энзимы (например, ММП-9) /4/. При этом методе решающую роль играет сила сжатия и продолжительность лечения; при слишком непродолжительном лечении или неправильной силой сжатия эффективность может быть снижена до нуля.

Для электростимуляции ран в рану в течение часа через каждый день или два дня подается пульсирующий низкочастотный ток. Таким образом, площадь поверхности раны пациента с ножной язвой через 12 недель может быть сокращена примерно на 67%, причем только у двух из ...

ТЕХНОЛОГИЯ LDM®. **ОСНОВЫ ОМОЛОЖЕНИЯ КОЖИ**

Д-р естественных наук Илья Кругликов, ВЕЛЛКОМЕТ ГмбХ, Карлсруэ, Германия

ВВЕДЕНИЕ

Старение кожи – это последовательный процесс, который происходит как на клеточном, так и на молекулярном уровне. Наиболее характерными внешними проявлениями старения кожи являются пигментные изменения (например, lentigo solaris или lentigo senilis), уменьшение тургора, а также изменение рельефа кожи вплоть до образования морщин.

Морщины представляют собой структурную модификацию рельефа кожи, как правило, возникающие в результате изменения структуры подкожной соединительной ткани. К наиболее существенным причинам относятся:

- Хронологическое (эндогенное) старение,
- Фотоиндуцированное (в основном, вызываемое воздействием ультрафиолетовых лучей, экзогенное) старение.

Эти два типа старения кожи проявляются по-разному. Кожа, стареющая хронологически, обычно выглядит более гладкой и менее поврежденной. При фотоиндуцированном старении кожа более дряблая и имеет больше пигментных пятен, типичные глубокие актинические морщины. Отчасти это связано с эпидермисом, который при хронологическом старении становится более тонким, а при фотоиндуцированном старении утолщается. Коллагеновые структуры также отличаются при этих двух процессах старения: при фотоиндуцированном старении часто образуются коллагеновые структуры, характерные для заживления ран /1/.

С возрастом изменяются и механические свойства кожи: кожа грубеет и теряет способность к растяжению с последующим возвращением в исходное положение. В этом виновато:

- Возрастающее число поперечных соединений в коллагеновой сети,
- Дезорганизация волокнистых сетевых структур соединительной ткани.

Важную роль в процессе старения кожи играют важнейшие клетки соединительной ткани – фибробласты и фиброциты. Фибробласты ответственны за формирование матрикса и проявляют активность в процессе синтеза. Они синтезируют не только первичные формы коллагена и исходную субстанцию, но и (вместе с кератиноцитами, нейтрофилами и т.д.) большое количество матриксных металлопротеиназ, ММП). Фиброциты, напротив, ответственны только за поддерживающий обмен веществ и присутствуют в неактивной соединительной ткани в гораздо большем количестве. Число фибробластов и фиброцитов, а также их соотношение в соединительной ткани, характеризует активность ткани в синтетических процессах.

МАТРИКСНЫЕ МЕТАЛЛОПРОТЕИНАЗЫ (ММП)

К семье матриксных металлопротеиназ (ММП) относятся цинк-зависимые эндопептидазы, ответственные как за психологическую, так и за патологическую деструктуризацию соединительной ткани (особенно коллагена). При старении кожи обмен коллагена существенно модифицируется по сравнению с молодой кожей: активность ММП-1 (так называемой коллагеназы-1), ММП-2 (желатиназы А) и ММП-13 (коллагеназы-3) повышается на 40-80% /2/. Это указывает на сдвиг обмена коллагена в направлении разложения коллагена.

Ультрафиолетовое облучение кожи даже в небольших дозах, измеряемых несколькими мДж/см², не вызывающее прямую образования эритем, может привести к изменению обмена коллагена. Так, среди прочего в результате воздействия ультрафиолетовых лучей может значительно повышаться активность ММП-1, ММП-2, ММП-3 и ММП-9. При этом стимулирующее воздействие на ММП могут оказывать оба компонента – ультрафиолетовые лучи А и В, причем ультрафиолетовые лучи В демонстрируют все большее действие /3, 4/.

Различные методы лечения разрабатывались для того, чтобы снизить активность ММП в ткани и, тем самым, затормозить старение кожи. Эти методы основываются на применении химических ингибиторов (в том числе ретиноидов) для замедления и предотвращения старения кожи /2, 5/. Любое задерживающее воздействие, демонстрирующее сдерживающий эффект в отношении ММП, должно приводить к улучшению текстуры кожи и, тем самым, косвенным образом к омоложению кожи.

ЛОКАЛЬНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ МИКРОМАССАЖ

Несмотря на то, что терапевтический ультразвук чаще применяется в эстетике для обеспечения всасывания препаратов (фонофорез), этот метод лечения до сих пор не нашел широкого применения в дерматологической практике. Причина этого состоит в глубинном воздействии ультрафиолетовых волн, применяемых для этих целей.

Таким образом, половинная глубина (глубина, на которой интенсивность звука на коже уменьшается на 50% от номинального значения) для волн частотой 1 МГц составляет около 3 см, для волн частотой 3 МГц – около 1 см. Для ультразвуковых волн частотой 10 МГц этот показатель составляет 0,3 см, что ...

ТЕХНОЛОГИЯ LDM®.

ЛЕЧЕНИЕ АКНЕ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ РУБЦОВ ОТ АКНЕ

Д-р естественных наук Илья Кругликов, ВЕЛЛКОМЕТ ГмбХ, Карлсруэ, Германия

ВВЕДЕНИЕ

Акне является одним из наиболее распространенных заболеваний кожи молодежи и взрослых и одинаково часто встречается у представителей обоих полов. Число заболевших в возрасте от 11 до 30 лет составляет около 80% /1/. Патофизиология акне не совсем ясна, в то же время очевидно, что при этом заболевании взаимодействуют различные факторы, в т.ч. гормональные факторы и нарушение секреции сальных желез (себорея), фолликулярный гиперкератоз и интенсивное микробиологическое заселение кожи (прежде всего *P. acnes*).

В научных работах подробно описаны три фазы развития акне /2/.

1 этап. Стимуляция сальных желез андрогенами с развитием себореи. Здесь большую роль играет 5 α -редуктаза, отвечающая за преобразование тестостерона в дегидротестостерон в себоцитах /3/. Недавно стало известно, что себоциты синтезируют андрогены, а также могут преобразовывать слабые андрогены в более сильные дериваты.

2. этап. Чрезмерное отслоение клеток эпителия от стенки фолликула. Эта обструкция ведет к образованию микрокомедонов, которые затем превращаются в видимые комедоны, существенные для клинической картины.

3 этап. Размножение пропионибактерии акне (*propionibacterium acnes*, *p. acnes*) в таких обструктивных фолликулах, ведущее к образованию очагов воспаления (папул, гнойников или кист).

Классические методы лечения акне помимо косметического очищения кожи включают в себя применение салициловой кислоты, витамина А (ретинола), изоретинола (аккутана), а также различных антибиотиков. Время ремиссии после местного или орального применения этих препаратов составляет около 3 месяцев, причем при таком лечении могут появляться различные побочные эффекты (как, например, раздражение кожи, эритема, хейлит, фотосенсибилизация, депрессии, сухость глаз, анемия, лейкопения и т.д.). Применение антибиотиков довольно распространено в практике, однако проблема состоит в том, что все чаще формируются резистентные штаммы *P. acnes*.

Известно, что неправильно подобранное лечение акне, направленное на подавление воспаления, может привести к образованию рубцов. Образование рубцов можно считать одним из тяжелейших осложнений акне, т.к. они не поддаются медикаментозному лечению и могут устраняться только такими методами, как химический пилинг, дермабразия или лазер. Лечение с применением этих методов само по себе связано с сильными побочными эффектами, такими, как образование рубцов и изменение пигментации. Поэтому предотвращение формирования рубцов должно быть важным компонентом любого из видов терапии воспалительного акне.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛЕЧЕНИЯ АКНЕ

В целом существует две современные теории, составляющие основу терапии акне.

Теория 1. Воздействие на порфирины, вырабатываемые *P. acnes*.

Теория 2. Воздействие на металлопротеиназы, которые вырабатываются кератиноцитами и нейтрофилами и могут вызывать разрывы фолликулов.

ПОРФИРИН

P. acnes вырабатывают свободные жирные кислоты, так называемые эндогенные порфирины, среди прочего это протопорфирин IX, копропорфирин III и металлокопропорфирин III в разных концентрациях /4/. Содержание порфирина в коже, пораженной акне, значительно выше, чем в окружающих здоровых тканях. Такие участки, перегруженные порфирином, имеют типичную автофлуоресценцию красного цвета, которую можно наблюдать с помощью лампы Вуда.

Порфирины играют роль стабилизаторов, производящих под воздействием определенных физических факторов фототоксичные субстанции, как, например, синглетный кислород ($^1\text{O}_2$) и свободные радикалы, которые поражают клетки целевой ткани. При фотодинамической терапии (ФДТ) для радикализации порфиринов используется лазерный свет. Этот метод лечения уже занял прочное место в дерматологии /5/.

Наряду с ФДТ применяется сонодинамическая терапия (СДТ).

ЛОКАЛЬНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ МИКРОМАССАЖ

Д-р естественных наук Илья Кругликов, ВЕЛЛКОМЕТ ГмбХ, Карлсруэ, Германия

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвук с его многосторонним механическим, термическим и химическим воздействием на клетки и структуры ткани уже давно применяется в различных областях лечебной и эстетической медицины.

Ни с помощью рук, ни с помощью каких-либо аппаратных методов (например, вакуумного массажа или вакуумного компрессионного массажа) невозможно достигнуть таких значительных колебаний давления (давление во много раз превышает атмосферное) на столь маленьком участке (размером около 1 мм). При обычном вакуумном массаже используется вакуум с давлением в 100 или 1000 раз ниже. И это не только эффективно, но и безопасно, благодаря чему LDM® можно использовать как в медицине, так и в косметологии.

Сильный эффект ультразвука, достигаемый при проведении процедуры микромассажа, может быть дополнительно усилен за счет технологии LDM®. LDM® - локальный динамический микромассаж – это новый метод лечения, качественно отличающийся от других видов массажа. В технологии LDM® применяются специальные ультразвуковые волны, частота которых меняется с большой скоростью. Благодаря этому возникают эффекты, которые не могут быть достигнуты при традиционном использовании ультразвука.

КАК ДЕЙСТВУЕТ НА ТЕЛО УЛЬТРАЗВУК?

Чтобы объяснить различия между технологией LDM® и обычным ультразвуком, необходимо сначала проанализировать такие параметры, как амплитуда колебаний, скорость и ускорение частиц в среде, на которую распространяется действие ультразвуковых волн, а также значения давления, которое они производят.

АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЙ

Ультразвуковые волны распространяются во влажной среде со скоростью 1500 м/с.

Амплитуда колебаний частиц среды зависит интенсивности частоты звука. При проведении косметологических процедур с использованием ультразвука обычной интенсивности 1 Вт/см² с частотой колебаний 1 МГц = 10⁶ Гц амплитуда колебания частиц среды составляет примерно от 0,018 мкм = 0,000018 мм.

Для сравнения:

Стандартный диаметр клетки составляет примерно 10 мкм, а толщина клеточной мембраны – всего 0,005 мкм. Таким образом, амплитуда колебаний частицы среды намного меньше клетки и намного больше ее мембраны. Последнее указывает на то, что такие эффекты мембраны (например, проницаемость клеточной мембраны) могут быть изменены с помощью ультразвука. Фактически было зарегистрировано повышение проницаемости клеточной мембраны до 200%.

Амплитуда колебаний уменьшается с повышающейся частотой следующим образом:

$$a = \frac{1}{2\pi f} \frac{(2I)^{1/2}}{\rho c}$$

a – амплитуда колебаний, f – частота ультразвука, I – интенсивность ультразвука, ρ – плотность среды и c – скорость звука.

Это означает, что при частоте 3 МГц амплитуда колебаний становится в три раза меньше, чем при частоте 1 МГц. При частоте 10 МГц амплитуда уменьшается в 10 раз, составляет всего 0,0018 мкм и, таким образом, становится меньше толщины мембраны.

СКОРОСТЬ И УСКОРЕНИЕ

Максимальная *скорость*, которой могут достигнуть частицы среды в таком ультразвуковом поле, составляет всего 10-15 см/с. Эта скорость намного меньше самой скорости звука. Она не постоянна и постоянно колеблется в диапазоне от 0 до вышеуказанного максимального значения.

При этом происходит ускорение, максимальное значение которого при указанной интенсивности 1 Вт/см² и частоте 1 МГц достигает около 725 км/с².

Для сравнения:

Если автомобиль разгоняется с 0 до 100 км/ч за 10 секунд, ускорение составляет всего около 0,003 км/с².

Такое неравномерное движение в ткани вызывает сильное трение, которое может привести к значительному повышению температуры.

Скорость v не зависит от частоты, в то время как ускорение g возрастает при увеличении частоты ультразвука, и при частоте ультразвука 3 МГц становится в три раза больше, чем при частоте 1 МГц. При частоте 10 МГц она достигает 7.250 км/с^2 !

$$v = (2I/\rho c)^{1/2}$$
$$g = 2\pi f (2I/\rho c)^{1/2}$$

ДАВЛЕНИЕ

Одновременно в результате воздействия ультразвуковых волн в ткани попеременно возникает избыточное давление и вакуум. Для вышеуказанных параметров ультразвука это давление p достигает значения $1,7 \text{ бар} = 1,7 \times 10^5 \text{ Па}$ и, таким образом, в два раза превышает нормальное атмосферное давление. Давление вакуума чисто теоретически может достигнуть значения $-1,7 \text{ бар}$. В любом случае для этих показателей определен нижний порог. При интенсивности ультразвука 2 Вт/см^2 этот диапазон давления может по меньшей мере достигать значения, превышающего показатели атмосферного давления в три раза.

На первый взгляд это кажется невероятным, так как при обработке ультразвуком пациент практически не испытывает никаких ощущений. Вакуумный массаж или вакуумный компрессионный массаж со значением избыточного давления или давления вакуума, составляющим всего $0,1 \text{ бар}$ (около 10% от значения нормального атмосферного давления), напротив, сопровождается весьма характерными ощущениями.

При вакуумном или компрессионном массаже речь идет о методе поверхностного воздействия, при котором решающую роль играют рецепторы кожи и кровоснабжение. Однако давление, создаваемое в ткани, далеко не так высоко, как часто думают. При воздействии ультразвука картина иная: рецепторы кожи, а также рецепторы сосудов вообще не «видят» ультразвуковые волны и при проведении такой процедуры остаются *неактивными*. Но значения давления в ткани местами могут быть так высоки, что здесь можно говорить о настоящем «микромассаже».

Столь высокие значения могут создать впечатление, что внешние частицы могут «вдавять» создаваемое давление в тело, что могло бы послужить объяснением фонофореза. Однако на деле все обстоит иначе. Вышеуказанное значение давления *не зависит от частоты*,

$$p = (2I/\rho c)^{1/2}$$

т.е. оно *одинаково при любой частоте ультразвука*. Это противоречит экспериментам, демонстрирующим очевидный эффект фонофореза, *не зависящий от частоты*.

Механическое воздействие на кожу за счет изменения давления при традиционной обработке ультразвуком с частотой от 1 МГц до 3 МГц не играет большой роли. Роговой слой кожи имеет толщину 15 мкм , таким образом, он значительно меньше обычной длины полуволны ультразвука при 1 МГц (750 мкм) или при 3 МГц (250 мкм). Это может изменяться при более высокой частоте. При 10 МГц длина полуволны составляет всего 75 мкм , что существенно увеличивает значение механических эффектов при фонофорезе и может повышать эффективность фонофореза при этой частоте.

Действительно ли эта независимость от частоты давления означает, что *структуры давления* в ткани одинаковы? Максимальные значения давления действительно не зависят от частоты, распределение давления, напротив, *зависит от частоты*. На это есть очень существенная причина – длина волны (так называется промежуток между двумя максимальными значениями волны) тесно связана с частотой.

Длина волны ультразвука с частотой МГц составляет около $1,5 \text{ мм}$; при частоте 3 МГц она составляет около $0,5 \text{ мм}$, и при 10 МГц она составляет $0,15 \text{ мм}$. Это означает, что при ультразвуке интенсивностью 1 Вт/см^2 с частотой 1 МГц максимальное избыточное давление $1,7 \text{ бар}$ и максимальное давление вакуума $-1,7 \text{ бар}$ в пространстве разделены всего половиной длины волны (около $0,75 \text{ мм}$). За счет этого возникает огромная и постоянно изменяющаяся локальная разница давления в пределах $0,75 \text{ мм}$. При воздействии ультразвуком частотой 3 МГц эта разница давления возникает в зоне размером $0,25 \text{ мм}$, а при 10 МГц – в зоне, размер которой составляет всего $0,075 \text{ мм}$ (см. рис. 1) При этом в ткани появляются огромные *градиенты давления*.

МЕТОД LDM

Таким образом, если частота ультразвука при одинаковой интенсивности изменяется от 1 МГц до 3 МГц или от 3 МГц до 10 МГц, то абсолютные показатели давления в ткани остаются одинаковыми. При этом минимальная единица микромассажа уменьшается с $0,75 \text{ мм}$ до $0,25 \text{ мм}$ (или с $0,25 \text{ мм}$ до $0,075 \text{ мм}$). Благодаря этому появляется уникальная возможность динамической модуляции массажного воздействия ультразвука.

Эта возможность впервые появилась с введением новой *технологии LDM®*. В рамках этой технологии ультразвуковые частоты меняются с большой скоростью (от 100 до 1000 раз в секунду). При этом возникает

пульсация градиентов давления в ткани с одинаковой частотой. За счет этого в ткани осуществляется новый вид микромассажа, который невозможен при обычном применении ультразвука.

До сих пор на механическое воздействие можно было влиять только путем *изменения интенсивности* ультразвука. Согласно рисунку 2 это можно назвать *«вертикальным»* управлением массажем.

Благодаря методу LDM® зона действия массажа, размер которой определяется длиной волны, может быть изменена. Так как это изменение происходит в направлении волны (см. рисунок 1), эта дополнительная возможность может быть названа *«горизонтальным»* управлением массажем.

Подводя итоги, можно сказать, что скорость в ультразвуковом поле зависит от ультразвукового поля и может быть изменена путем изменения интенсивности ультразвука. Амплитуда и ускорение, напротив, зависят от частоты и могут изменяться путем изменения интенсивности, а также частоты ультразвука (таблица 1). Максимальное значение давление в ткани зависит от частоты, однако частота может оказывать значительное влияние на распределение давления.

Рисунок 1. Давление в ультразвуковых волнах

- а) Частота 1 МГц, длина волны 1,5 мм;
- б) Частота 3 МГц, длина волны 0,5 мм;
- в) Частота 10 МГц, длина волны 0,15 мм

Рисунок 2. Распределение энергии в теле при частоте ультразвука 1 МГц и двух разных значениях интенсивности воздействия на кожу. За счет увеличения интенсивности («вертикальное управление») значения давления в ткани могут соответственно повышаться.

Таблица 1. Физические параметры ультразвуковых волн различной частоты

Параметр (максимальные значения)	Частота 1 МГц, Интенсивность 1 Вт/см ²	Частота 3 МГц, Интенсивность 1 Вт/см ²	Частота 10 МГц, интенсивность 1 Вт/см ²
Амплитуда	0,018 мкм	0,006 мкм	0,0018 мкм
Скорость	0,115 м/с	0,115 м/с	0,115 м/с
Ускорение	725 км/с ²	2,175 км/с ²	7,250 км/с ²
Давление	1,7 бар	1,7 бар	1,7 бар
Половинная глубина, 50%	ок. 3 см	ок. 1 см	ок. 0,3 см
Глубина проникновения, 10%	ок. 6 см	ок. 2 см	ок. 0,6 см

Таблица 2. Сравнение ультразвуковых волн частотой 1 МГц и 3 МГц

Параметр (максимальные значения)	Частота 1 МГц, Интенсивность 1 Вт/см ²			Частота 3 МГц, Интенсивность 1 Вт/см ²		
	0 см	2 см	6 см	0 см	2 см	6 см
Амплитуда	0,0184 мкм	0,0146 мкм	0,0058 мкм	0,0061 мкм	0,0031 мкм	0,0008 мкм
Скорость	0,115 м/с	0,091 м/с	0,036 м/с	0,115 м/с	0,058 м/с	0,014 м/с
Ускорение	725 км/с ²	576 км/с ²	229 км/с ²	2175 км/с ²	1090 км/с ²	274 км/с ²
Давление	1,70 бар	1,35 бар	0,54 бар	1,70 бар	0,85 бар	0,21 бар

Таблица 3. Сравнение ультразвуковых волн частотой 3 МГц и 10 МГц

Параметр (максимальные значения)	Частота 1 МГц, Интенсивность 1 Вт/см ²			Частота 3 МГц, Интенсивность 1 Вт/см ²		
	0 см	0,5 см	1 см	0 см	0,5 см	1 см
Амплитуда	0,0061 мкм	0,0051 мкм	0,0043 мкм	0,0018 мкм	0,0010 мкм	0,0008 мкм
Скорость	0,115 м/с	0,097 м/с	0,081 м/с	0,115 м/с	0,065 м/с	0,049 м/с
Ускорение	2175 км/с ²	1830 км/с ²	1538 км/с ²	7250 км/с ²	4075 км/с ²	3077 км/с ²
Давление	1,70 бар	1,43 бар	1,20 бар	1,70 бар	0,96 бар	0,72 бар

ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Насколько глубоко и с какой интенсивностью ультразвук проникает в тело, *зависит от частоты*. Существуют различные способы определения глубины проникновения ультразвука. Один из них – это так называемая *половинная глубина* – глубина, на которой интенсивность звука сокращается до 50%. Этот параметр остается неизменным, независимо от того, какое значение интенсивности было установлено на приборе. Другое понятие – так называемая *глубина проникновения* – глубина, на которой интенсивность звука уменьшается до 10% от изначального значения.

При нормальной конституции тела половинная глубина для ультразвука частотой 1 МГц составляет ок. 3 см, для ультразвука частотой 3 МГц это значение почти в три раза меньше и составляет ок. 1 см. Для ультразвука частотой 10

МГц это значение составляет ок. 0,3 см (0,6 см). Чем меньше частота ультразвука, тем глубже он проникает в тело. При этом почти вся энергия адсорбируется и отражается не в структурах кожи, а в субкутисе, мышцах и костях. Для поверхностного применения (особенно в дерматологии и косметологии) ультразвук частотой 10 МГц имеет преимущество из-за его абсорбции в коже.

Предположим, что интенсивность ультразвука на коже составляет 1 Вт/см². Тогда его интенсивность в коже на глубине ок. 3 см при частоте 1 МГц и на глубине 1 см при частоте 3 МГц составляет 0,5 Вт/см² (таблицы 2 и 3). Если на поверхности применяется ультразвук интенсивностью 2 Вт/см², вышеуказанная глубина достигается ультразвуковой волной, интенсивность которой составляет 1 Вт/см². Это означает, что изначальная интенсивность звука при постоянной частоте ультразвука всегда будет *уменьшаться в два раза* в теле на одной и той же глубине, несмотря на то, что *абсолютные* параметры ультразвука на этой глубине различны. Это четко показано на рисунках 2 и 3.

Рисунок 3. Распределение энергии в теле для ультразвука частотой 1 МГц и 3 МГц. Интенсивность на коже одинакова при обоих параметрах частоты и составляет 100%. Видно, что на пути к костям больше энергии абсорбируется при частоте 3 МГц, чем при частоте 1 МГц. Быстрое изменение частоты с 1 МГц до 3 МГц приводит к соприкосновению двух пограничных кривых (эффект глажения).

Если энергия ультразвука остается на пути, поверхностные слои тела нагреваются быстрее.

При быстром изменении частоты между 1 МГц и 3 МГц (как это происходит при использовании метода LDM®) возможно распределение энергии между двумя пограничными кривыми (1 и 3 МГц) (см. рисунок 3). Это дает возможность более эффективного *обширного* воздействия, напоминающего «глажение». В косметологии это особенно интересно при лечении целлюлита. Если эта технология применяется для частоты 3 и 10 МГц, этот «метод глажения» может успешно использоваться при поверхностной индикации.

РЕЗЮМЕ

Технология LDM® дает три преимущества по сравнению с традиционным применением ультразвука.

Преимущество 1. Быстрое изменение частоты ультразвука приводит к сильной пульсации градиентов давления в ткани, что приводит к появлению нового вида внутреннего микромассажа.

Преимущество 2. Применение технологии LDM® дополнительно дает возможность производить обширное воздействие на ткань.

Преимущество 3. Технология LDM® имеет множество преимуществ, т.к. разные частоты оказывают разное воздействие при проведении одной процедуры.

Вот некоторые примеры применения технологии LDM® в эстетической медицине:

- **Омоложение кожи**
За счет дифференциации фиброцитов в фибробластах
- **Разглаживание**
За счет улучшения организации коллагена, повышения тургора и увеличения внеклеточного пространства
- **Целлюлит**
За счет улучшения структур соединительной ткани, ускорения диффузионных процессов с соответствующей активизацией обмена веществ в жировой ткани
- **Стимуляция соединительной ткани**
Более сильная стимуляция формирования так называемого фактора стимуляции фибробластов у макрофагов путем воздействия ультразвуком частотой 3 МГц.
В то же время этот мобилизация фактора лучше стимулируется путем воздействия ультразвуком частотой 1 МГц. Лишь сочетание разных частот в одной процедуре может оптимально управлять обоими процессами.
- **Рубцы и рубцы от акне**
За счет изменения коллагеновых сетевых структур, улучшения микроциркуляции и активизации обмена веществ.