

Локальный динамический микромассаж

1 ВВЕДЕНИЕ

LDM® – локальный динамический микромассаж – новый метод косметологической коррекции, качественно отличающийся от других видов массажа. В технологии LDM® применяются ультразвуковые волны, частота которых меняется с большой скоростью. Благодаря этому возникают эффекты, которые не могут быть достигнуты при традиционном использовании ультразвука.

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

2 КАК УЛЬТРАЗВУК ДЕЙСТВУЕТ НА КОЖУ?

Чтобы объяснить различия между технологией LDM® и обычным применением ультразвука в косметологии, необходимо проанализировать такие параметры, как амплитуда колебаний, скорость и ускорение частиц в среде, на которую распространяется действие ультразвука.

И. Кругликов, кандидат биологических наук, ВЕЛЛКОМЕТ, ГмбХ, Карлсруэ, Германия
Статья печатается с любезного разрешения
д-ра И. Кругликова и компании «Ионта Комед»

вых волн, а также давление, которое они производят на ткани.

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

Амплитуда колебаний частиц среды зависит интенсивности и частоты звуковых волн. При проведении косметологических процедур с использованием ультразвука обычной интенсивности (1 Вт/см^2) с частотой колебаний 1 МГц амплитуда колебания частиц среды составляет примерно $0,018 \text{ м}$.

Известно, что стандартный диаметр клетки составляет около 10 м , а толщина клеточной мембраны не превышает $0,005 \text{ м}$. Таким образом, амплитуда колебаний частиц среды намного меньше размеров клетки и намного больше толщины ее мембраны. Ввиду этого, некоторые характеристики клетки, например, проницаемость клеточной мембраны могут быть изменены с помощью ультразвука. Фактически было зарегистрировано, что под воздействием процедуры LDM® проницаемость клеточной мембраны может быть повышена чуть ли не на 200% (то есть примерно в 3 раза).

Амплитуда колебаний частиц среды уменьшается с повышением частоты звуковых волн следующим образом:

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

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

Это означает, что при частоте 3 МГц амплитуда колебаний частиц среды становится в 3 раза меньше, чем при частоте 1 МГц, а при частоте 10 МГц она уменьшается в 10 раз и составляет всего $0,0018 \text{ м}$, и, таким образом, становится меньше толщины мембраны.

Локальный динамический микромассаж

Максимальная скорость, которой могут достигнуть при этом частицы среды, составляет всего 10–15 см/с. Эта скорость намного меньше самой скорости звука. Она не постоянна и колеблется в диапазоне от 0 до вышеуказанного максимального значения. При этом максимальное ускорение, которое получают частицы среды, при указанных интенсивности (1 Вт/см²) и частоте (1 МГц) достигает 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).

Скорость колебания молекул (v) не зависит от частоты подачи звуковых волн, в то время как ускорение (g) возрастает при увеличении частоты ультразвука. Так, при частоте ультразвука 3 МГц оно становится в три раза больше, чем при частоте 1 МГц, а при частоте 10 МГц оно достигает 7,250 км/с²!

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

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

Одновременно в результате воздействия ультразвуковых волн в ткани попеременно возникают избыточное давление и вакуум. При вышеуказанных параметрах ультразвука это давление (p) достигает значения 1,7 бар и, таким образом, в 2 раза превышает нормальное атмосферное давление. Давление вакуума теоретически может достигнуть значения -1,7 бар. В любом случае для этих показателей определен нижний порог: при интенсивности ультразвука 2 Вт/см² этот диапазон давлений может по меньшей мере достигать значений, превышающих величину атмосферного давления в 3 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, составляющими

всего 0,1 бар (около 10% от значения нормального атмосферного давления), напротив, сопровождаются весьма характерными ощущениями.

При вакуумном или компрессионном массаже происходит поверхностное воздействие на ткани, 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: чувствительные рецепторы кожи и сосудов вообще не «видят» ультразвуковые волны и при проведении такой процедуры остаются неактивными. Но давление в ткани местами может быть так высоко, что можно говорить о настоящем «микромассаже». Следует также сказать, что величина давления, возникающего в тканях, не зависит от частоты подаваемого ультразвука, т.е. одинакова при любой частоте ультразвука.

Механическое воздействие на кожу за счет изменения давления при традиционной обработке ультразвуком с частотой от 1 до 3 МГц не играет большой роли. Толщина рогового слоя кожи составляет 15 мкм, таким образом, он значительно меньше обычной длины полуволны ультразвука при частотах 1 МГц (750 мкм) или 3 МГц (250 мкм). Однако при частоте 10 МГц длина звуковой полуволны составляет всего 75 мкм, что существенно увеличивает механическое воздействие на ткани и может повышать эффективность фонофореза.

Означает ли указанная независимость давления от частоты, что давление в ткани везде одинаково? Максимальные значения давления действительно от частоты не зависят, но распределение давления в ткани, напротив, тесно связано с частотой и/или длиной волны.

Длина волны ультразвука с частотой 1 МГц составляет около 1,5 мм, при частоте 3 МГц она составляет примерно 0,5 мм, при 10 МГц – лишь 0,15 мм. Это означает, что при интенсивности 1 Вт/см² и частоте 1 МГц максимальное избыточное давление (1,7 бар) и максимальное давление вакуума (-1,7 бар) в пространстве «разделены» всего половиной длины волны (около 0,75 мм). За счет этого в зоне размером 0,75 мм возникает огромная постоянно меняющаяся свой «знак» локальная разница давлений. При частоте ультразвука 3 МГц эта разница давлений возникает в зоне размером 0,25 мм, а при частоте 10 МГц – в зоне, размер которой составляет всего 0,075 мм (рис. 1). При этом в ткани появляются огромные градиенты давления.

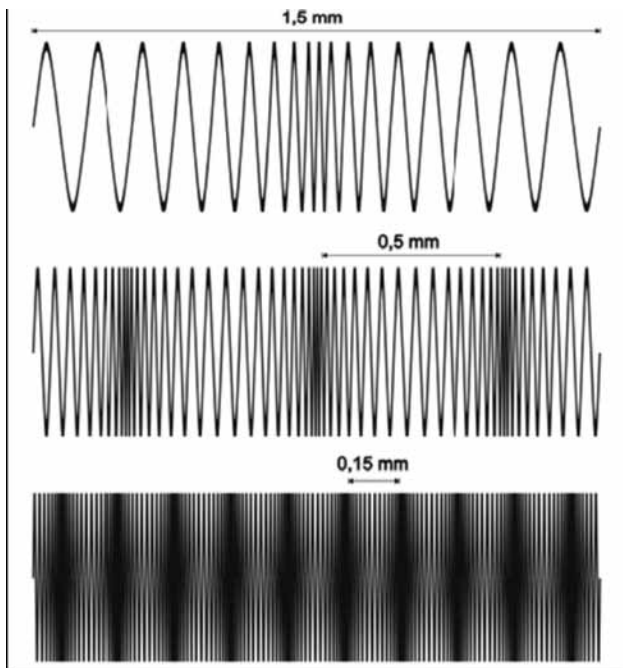


Рис. 1. Давление в тканях под действием ультразвуковых волн: частота 1 МГц, длина волны 1,5 мм (а); частота 3 МГц, длина волны 0,5 мм (б); частота 10 МГц, длина волны 0,15 мм (в)

3 МЕТОД LDM®

Итак, если интенсивность ультразвука одинакова, то максимальная величина давления в ткани также остается одинаковой вне зависимости от изменения его частоты. При этом минимальная зона микромассажа с возрастанием частоты подаваемого ультразвука уменьшается с 0,75 (при частоте 1 МГц) до 0,25 мм (при частоте 3 МГц) и до 0,075 мм (при частоте 10 МГц). Благодаря этому появляется возможность динамической модуляции массажного воздействия ультразвука.

Эта возможность впервые появилась с введением новой технологии LDM®. В рамках этой технологии частота ультразвука меняются с большой скоростью – от 100 до 1000 раз в секунду. Соответственно с такой же частотой меняются и градиенты давления в ткани. За счет этого осуществляется новый вид микромассажа, который невозможен при обычном применении ультразвука.

До сих пор эффективность воздействия на ткани можно было менять только путем изменения интенсивности ультразвука. Это можно

назвать «вертикальным управлением» массажем (рис. 2).

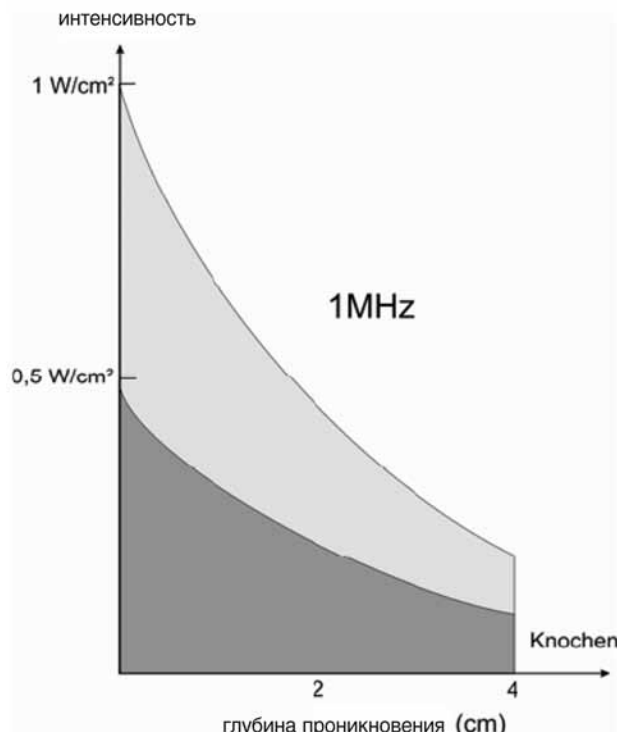


Рис. 2. Распределение энергии в ткани при частоте ультразвука 1 МГц и разных значениях интенсивности воздействия на кожу. За счет увеличения интенсивности («вертикальное управление») давление в ткани может повышаться

Благодаря методу LDM® зона действия массажа, размер которой определяется длиной волны, может быть изменена при изменении частоты излучения. Эта дополнительная возможность может быть названа «горизонтальным» управлением массажем (см. рис. 1).

Подводя итоги, напомним, что скорость колебания частиц среды в ультразвуковом поле может быть изменена путем изменения интенсивности ультразвука. Амплитуда и ускорение, напротив, зависят от частоты излучения и могут изменяться при ее изменении. Максимальное значение давления в ткани не зависит от частоты, однако частота может оказывать значительное влияние на распределение давления. Физические параметры ультразвуковых волн разной частоты приведены в табл. 1–3.

ТАБЛ. 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЫ

<i>Параметр (максимальное значение)</i>	<i>Частота 1 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>	<i>Частота 3 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>	<i>Частота 10 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>
<i>Амплитуда</i>	<i>0,018 мкм</i>	<i>0,006 мкм</i>	<i>0,0018 мкм</i>
<i>Скорость</i>	<i>0,115 м/с</i>	<i>0,115 м/с</i>	<i>0,115 м/с</i>
<i>Ускорение</i>	<i>725 км/с²</i>	<i>2,175 км/с²</i>	<i>7,250 км/с²</i>
<i>Давление</i>	<i>1,7 бар</i>	<i>1,7 бар</i>	<i>1,7 бар</i>
<i>Половинная глубина, 50%</i>	<i>ок. 3 см</i>	<i>ок. 1 см</i>	<i>ок. 0,3 см</i>
<i>Глубина проникновения, 10%</i>	<i>ок. 6 см</i>	<i>ок. 2 см</i>	<i>ок. 0,6 см</i>

ТАБЛ. 2. СРАВНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ЧАСТОТОЙ 1 МГЦ И 3 МГЦ

<i>Параметр (максимальное значение)</i>	<i>Частота 1 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>			<i>Частота 3 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>		
	<i>Глубина проникновения в ткани</i>			<i>Глубина проникновения в ткани</i>		
	<i>0 см</i>	<i>2 см</i>	<i>6 см</i>	<i>0 см</i>	<i>2 см</i>	<i>6 см</i>
<i>Амплитуда</i>	<i>0,0184 мкм</i>	<i>0,0146 мкм</i>	<i>0,0058 мкм</i>	<i>0,0061 мкм</i>	<i>0,0031 мкм</i>	<i>0,0008 мкм</i>
<i>Скорость</i>	<i>0,115 м/с</i>	<i>0,091 м/с</i>	<i>0,036 м/с</i>	<i>0,115 м/с</i>	<i>0,058 м/с</i>	<i>0,014 м/с</i>
<i>Ускорение</i>	<i>725 км/с²</i>	<i>576 км/с²</i>	<i>229 км/с²</i>	<i>2175 км/с²</i>	<i>1090 км/с²</i>	<i>274 км/с²</i>
<i>Давление</i>	<i>1,70 бар</i>	<i>1,35 бар</i>	<i>0,54 бар</i>	<i>1,70 бар</i>	<i>0,85 бар</i>	<i>0,21 бар</i>

ТАБЛ. 3. СРАВНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ЧАСТОТОЙ 3 МГЦ И 10 МГЦ

<i>Параметр (максимальное значение)</i>	<i>Частота 3 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>			<i>Частота 10 МГц, интенсивность 1 Вт/см²</i>		
	<i>Глубина проникновения в ткани</i>			<i>Глубина проникновения в ткани</i>		
	<i>0 см</i>	<i>0,5 см</i>	<i>1 см</i>	<i>0 см</i>	<i>0,5 см</i>	<i>1 см</i>
<i>Амплитуда</i>	<i>0,0061 мкм</i>	<i>0,0051 мкм</i>	<i>0,0043 мкм</i>	<i>0,0018 мкм</i>	<i>0,0010 мкм</i>	<i>0,0008 мкм</i>
<i>Скорость</i>	<i>0,115 м/с</i>	<i>0,097 м/с</i>	<i>0,081 м/с</i>	<i>0,115 м/с</i>	<i>0,065 м/с</i>	<i>0,049 м/с</i>
<i>Ускорение</i>	<i>2175 км/с²</i>	<i>1830 км/с²</i>	<i>1538 км/с²</i>	<i>7250 км/с²</i>	<i>4075 км/с²</i>	<i>3077 км/с²</i>
<i>Давление</i>	<i>1,70 бар</i>	<i>1,43 бар</i>	<i>1,20 бар</i>	<i>1,70 бар</i>	<i>0,96 бар</i>	<i>0,72 бар</i>

4 ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

С глубиной проникновения ультразвука в ткани связаны 2 понятия.

Одно из них – так называемая половинная глубина проникновения – глубина, на которой интенсивность звука сокращается на 50%. Этот параметр остается неизменным, независимо

от того, какое значение интенсивности было установлено на приборе. Другое понятие – глубина проникновения – глубина, на которой интенсивность звука уменьшается до 10% от начальной величины.

Насколько глубоко и с какой интенсивностью ультразвук проникает в кожу, зависит от частоты. При нормальной конституции тела половинная глубина проникновения ультразвука при частоте 1 МГц составляет около 3 см, при частоте 3 МГц она почти в 3 раза меньше

и составляет около 1 см, при частоте 10 МГц – около 0,3 см (0,6 см). Чем меньше частота ультразвука, тем глубже он проникает в тело. При этом почти вся энергия поглощается не в структурах кожи, а в подкожной, мышцах и костях. Поэтому для поверхностного применения (особенно в дерматологии и косметологии) предпочтительно применять ультразвук частотой 10 МГц.

Предположим, что интенсивность ультразвука на поверхности кожи составляет 1 Вт/см². Тогда его интенсивность в тканях на глубине 3 см при частоте 1 МГц и на глубине 1 см при частоте 3 МГц составит 0,5 Вт/см² (см. табл. 2 и 3). Если на поверхности кожи интенсивность ультразвуковой волны составляет 2 Вт/см², то на глубине 3 см при частоте 1 МГц и на глубине 1 см при частоте 3 МГц ее интенсивность упадет до 1 Вт/см². Таким образом, при постоянной частоте излучения начальная интенсивность излучения всегда будет уменьшаться в

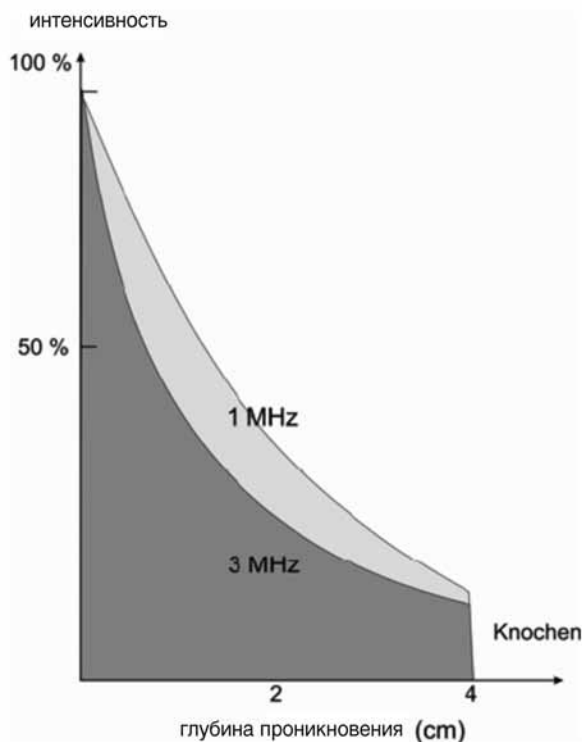


Рис. 3. Распределение энергии в тканях при частоте ультразвука 1 и 3 МГц. Интенсивность излучения на поверхности кожи в обоих случаях составляет 100%. Видно, что при частоте 3 МГц в тканях поглощается больше энергии, чем при частоте 1 МГц. Быстрое изменение частоты с 1 до 3 МГц приводит к эффекту «глажения»

два раза на одной и той же глубине, несмотря на то, что абсолютные параметры интенсивности на этой глубине различны. Это показано на рисунках 2 и 3.

При быстром изменении частот (как это и происходит при использовании метода LDM®) возможно распределение энергии в тканях. Это дает возможность более эффективного обширного воздействия, напоминающего «глажение». В косметологии это особенно интересно для лечения целлюлита.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология LDM® имеет несколько преимуществ, если сравнивать с традиционным применением ультразвука.

Преимущество 1. Быстрое изменение частоты ультразвука приводит к резкой смене градиентов давления в ткани, в результате чего достигается их «внутренний микромассаж» – совершенно новый вид ухода за кожей и другими мягкими тканями.

Преимущество 2. Появляется возможность производить обширное воздействие на ткани.

Преимущество 3. Излучение разной частоты воздействует на ткани неодинаково, что позволяет при проведении одной и той же процедуры добиваться сразу нескольких положительных эффектов.

Применение технологии LDM® в эстетической медицине:

- омоложение кожи (за счет дифференциации фиброцитов в фибробластах);
- разглаживание морщин (за счет улучшения организации коллагена, повышения тургора и увеличения внеклеточного пространства);
- лечение целлюлита (за счет улучшения структур соединительной ткани, ускорения диффузионных процессов, активизации обмена веществ в жировой ткани);
- стимуляция регенерации соединительной ткани (за счет дополнительной экспрессии фактора роста фибробластов);
- лечение рубцов, в том числе рубцов постакне (за счет изменения структуры коллагеновых волокон, улучшения микроциркуляции крови и активизации обмена веществ).

Локальный динамический микромассаж

Литература

1. Rantanen J, Thorsson O, Wollmer P, Hurme T, Kalimo H. *Effects of Therapeutic Ultrasound on the Regeneration of Skeletal Myofibers After Experimental Muscle Injury. Am J Sports Med*, 1999;27:54–59.
2. Deyne P, Kirsch-Volders M. *In Vitro Effects of Therapeutic Ultrasound on the Nucleus of Human Fibroblasts. Phys Ther*, 1995;75(7):629–634.
3. Williams AR. *Production and Transmission of Ultrasound. Physiotherapy*, 1987;73:113–116.
4. Capelo LP, Lopes C, Zorn TMT. *Effect of Therapeutic Ultrasound on Normal Mouse Dermis and Epidermis: A Qualitative and Quantitative Evaluation. Acta Microscopica*, 2003;12(Suppl.B):325–326.
5. Dinno MA, Dyson M, Young SR, et. al. *The Significance of Membrane Changes in the Safe and Effective Use of Therapeutic and Diagnostic Ultrasound. Phys Med Biol*, 1989;34(11):1543–1552.
6. Gaber Y, Tiedemann K, Reinhard DP, Brinckmann J. *Veränderungen der Quervernetzungen im kollagenen Bindegewebe bei Dermatoliposklerose. Phlebologie*, 2004;33(1):8–11.
7. Arnoczky SP, Aksan A. *Thermal Modification of Connective Tissues: Basic Science Considerations and Clinical Implications. J Am Acad Orthop Surg*, 2000;8(5):305–313.
8. Bosset S, Barre P, Chalon A, et. al. *Skin Ageing: Clinical and Histopathologic Study of Permanent and Reducible Wrinkles. Eur J Dermatol*, 2002;12(3):247–252.
9. Wells PNT. *Biomedical Ultrasonics*. – London: Academic Press, 1977.
10. Teot L. *Clinical Evaluation of Scars. Wound Repair and Regeneration*, 2002;10(2):93–97.
11. Mitragotri S, Edwards DA, Blankstein D, Langer R. *A Mechanical Study of Ultrasonically-Enhanced Transdermal Drug Delivery. J Pharmaceutical Sci*, 1995;84(6):697–706.