



И. Кругликов  
 Вэлкомет ГмбХ, Карлсруэ, Германия

# Сверхвысокочастотный ультразвук

## Новый метод терапии в эстетике и дерматологии

Количество новых методов лечения в дерматологии и, особенно в области эстетической медицины, значительно возросло в последние годы. Это связано с ростом спроса на все больше и больше ускоренные и эффективные, но и в финансовом отношении прибыльные методы лечения. В то время как большинство дерматологических методов последних 2 десятилетий образовывались на основе световой энергии (основана на селективном поглощении разных длин волн света в различных хромофорах), разрабатывались также электромагнитные, термические и звуковые методы терапии.

Эту разработку отчетливо можно наблюдать на примере звуковых волн. В то время как еще 20 лет назад звуковые волны использовались в дерматологии только в форме ультразвуков (УЗ) с частотами 30–40 кГц (низкочастотный УЗ) или 1 МГц (высокочастотный УЗ) для заживления ран [28, 29] или для фенофореза [18], то характеристики звуковых волн и спектры показаний в сегодняшней аппликации значительно изменились. Так, например, для удаления жира используется Фокусированный ультразвук высокой интенсивности (HIFU). В тоже время в эстетической медицине для придания упругости коже применяется Фокусированный ультразвук высокой энергии с различными частотами. Параллельно этому расширился диапазон терапевтических частот для УЗВ и частоты от 10 МГц и выше [сверхвысокочастотный

УЗ (СВЧ-УЗ)] применяется для лечения кожи.

### Краткое физическое описание

Специальные действия СВЧ-УЗ на кожу тесно связаны с его физическими свойствами. Для сравнения: УЗВ с частотами 20 кГц, 1 и 10 МГц в воде создают волны длиной 75, 1,5 и 0,5 мм соответственно. При интенсивности звука 1 Вт/м<sup>2</sup> подобные волны достигают частотно-независимые амплитуды давления вплоть до 1,7 бар. Из этого исходит, что получаемые перепады давления (падение давления на интервал в полдлины волны) в звуковой волне в 10 МГц в 500 раз больше, чем в УЗВ с частотой 20 кГц. При увеличении частоты показатели растут. Подобные локальные перепады давления создают механические действия, которые невозможно достичь в низких частотах.

» СВЧ-УЗ можно применять в форме одно- или многочастотных волн.

До сих пор в практике применялись только двухчастотные УЗВ под названием LDM® (локальный динамический микромассаж) с очень быстрой (в течение микро- или миллисекунд) сменой частоты (рис. 1; [11, 14]). В подобных волнах локальные перепады давления в ткани варьируют в такт смене частоты, что дополнительно приводит к особому эффекту микромассажа внутри ткани.

### Особые свойства сверхвысокочастотного ультразвука

Существует как минимум 2 причины, почему СВЧ-УЗ может быть интересен для дерматологического и эстетического использования:

- сильная частотная зависимость глубины проникновения УЗВ,
- особые биофизические действия СВЧ-УЗ.



Рис. 1 смена частоты в технологии LDM® (локальный динамический микромассаж)

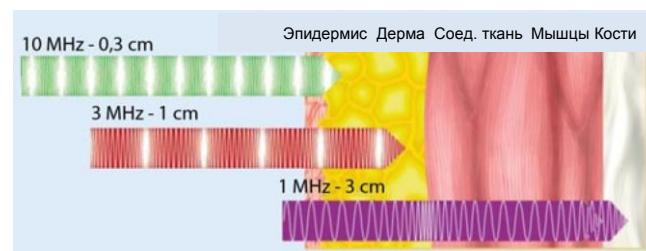
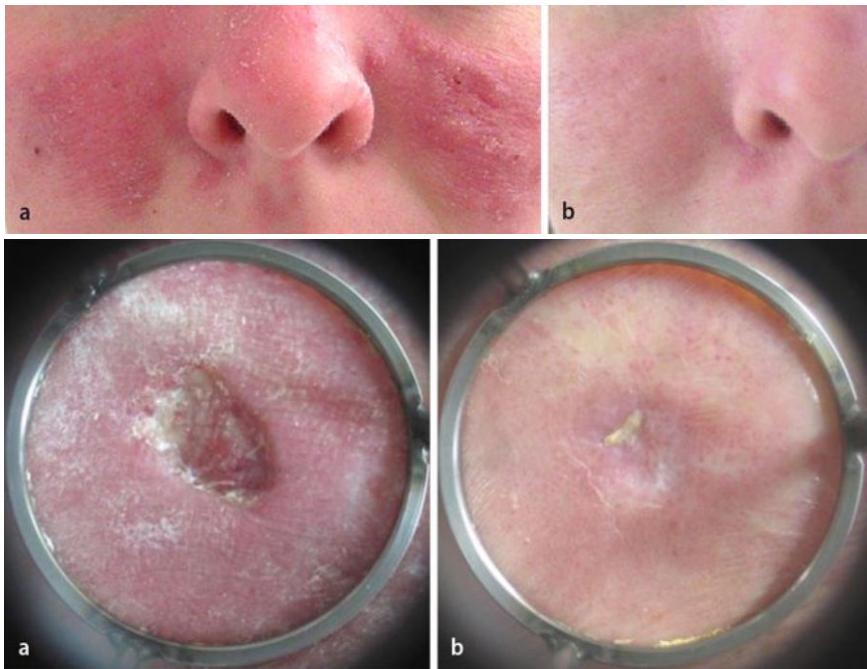


Рис. 2 глубина проникновения УЗВ на различных частотах



**Рис. 3** улучшение состояния кожи у пациента с акне с контралатеральным контролем: **а** до, **б** через 3 недели после 5 сеансов LDM®

**Рис. 4** Хроническая (около 2 лет) рана у пациента с диабетической стопой: **а** до, **б** через 3 недели после 8 сеансов LDM®. (с дружественного одобрения издательства «Scientific Research Publishing»)

#### Глубина проникновения

Глубина проникновения УЗВ значительно сокращается с ростом частот (Рис. 2). Так называемая половинная глубина (путь, после которого интенсивность УЗВ уменьшается вдвое) в УЗ-частотах 1, 3 и 10 МГц составляет, например, около 3, 1 и 0,3 см. Чем выше УЗ-частота, тем более поверхностно поглощается звуковая энергия. Это физическое свойство особенно важно, если определенная энергия должна быть поглощена преимущественно в дерме, чтобы достичь желаемого эффекта. Это свойство учитывается также в диагностическом УЗ, где применяются высокие частоты.

#### Биофизический эффект – доклинические исследования

Клеточные и внеклеточные действия звуковых волн определяются в конечном итоге клинические результаты. Однако было выявлено, что достигнутый биофизический эффект зависит не только от интенсивности, но и от частот. Далее проанализируем некоторые эффекты.

В зависимости от частоты и интенсивности, УЗВ могут стимулировать или сокращать активность Матриксной металлопротеиназы (ММР) [11], что предполагает выборочное применение подобных волн при различных дерматологических проблемах, как например, воспалительные заболевания кожи и гипертрофические рубцы. В действительности повышенное выделение ММР-1, -3 и -9 при акне является очень важным патофизиологическим симптомом данного заболевания [7], при этом снижение ММР-экспрессии в значительной степени соотносится с улучшением состояния кожи [4]. Чрезмерное выделение ММР-9 кератиноцитами как минимум частично отвечает за эпидермальное воспаление и по всей видимости задействовано в патофизиологии атопического дерматита [19]. Долгосрочное повышенное выделение ММР-2 и ММР-9 – это известные признаки хронических ран [12], при этом особенно ММР-9 возможно ответственный за медленное заживление ран [20]. Подавление ММР-2 и стимуляция ММР-9

в значительной степени коррелируют с клиническим улучшением гипертрофических рубцов [21]. Это можно истолковать так, что ММР-2 имеет «про-рубцующий эффект», а ММР-9 – «анти-рубцующий эффект». Эти важные результаты были подтверждены также Tanrıverdi-Akhisaroglu et al. [25]. Наивысшая концентрация ММР-2 была зафиксирована в келоидах, за которыми следует концентрация гипертрофических рубцов, нормальной кожи и атрофических рубцов.

Более четко данная частотная зависимость наблюдалась в белках теплового шока (БТШ): при использовании аналогичной интенсивности звука, БТШ72, например, при различных УЗ-частотах различается на порядок [24], при этом СВЧ-УЗ-частоты в 10 МГц показывают более сильный и долгосрочный эффект на БТШ. БТШ вовлечены различные дермальные процессы [16], например, в заживление ран и рубцевание [27]. БТШ72 – это молекулярный «наставник», который отвечает за контроль содержания протеина. Его экспрессия очень активна в нормально заживающих ранах, однако в хронических ранах остается в значительной степени блокированным [17], что делает модуляцию БТШ72 потенциальной целью лечения [1, 11].

#### » С СВЧ-УЗ также можно сдерживать процесс старения кожи.

Основная концентрация поглощаемой УЗ энергии в дерме приводит к умеренному повышению температуры в этом слое кожи, которая – как при слабой гипертермии – влечет за собой локальное увеличение эндогенных гиалуронатов [31]. Данное скопление гиалуронатов приводит к большому количеству связанной воды, а также к локальному увеличению тургора соединительных тканей.

Похожие изменения в ткани также может вызвать модуляция MMP- и БТШ-экспрессии. Это образует основу для применения СВЧ-УЗ для антивозрастного лечения [10, 14].

Важное свойство УЗ-волн – это фонофорез (усиление трансдермальной передачи активных веществ). Фонофорез исследовался в основном для низкочастотных и физиотерапевтических УЗ-частот, что приводило к ошибочным клиническим применением СВЧ-УЗ. Существенное (при этом более низкое, чем у низкочастотных УЗ) усиление фонофореза при использовании УЗ с частотами в 10 МГц и более было продемонстрировано в [2, 3]. Тем не менее использование СВЧ-УЗ для фонофореза может быть преимущественным в дерматологии и эстетике. Это связано с тем, что низкочастотный УЗ в коже образует так называемые «зоны локального переноса», которые покрывают всего лишь малую долю кожи. Из этого получается сильно гетерогенный пятнистый участок кожи с локальным переносом. Этот эффект не возникает при использовании волн СВЧ-УЗ [18].

Недавно было продемонстрировано, что фибробласты, которые в основном определяют структуру дермиса, можно активировать внутридермальными адипоцитами, что должно сыграть большую роль в процессе заживления ран [23]. Количество этих адипоцитов зависит от пролиферации и дифференциации ожиревших стволовых клеток. УЗ-волны показывают также значительное влияние на эти процессы, при этом здесь высокие УЗ-частоты вызывают более сильные эффекты [8].

Подводя итог, СВЧ-УЗ может значительно повлиять как на клетки, так и на внеклеточные структуры кожи, что при частотно-зависимом применении может привести к целенаправленной модификации дермиса и, тем самым, к дерматологически и эстетически важным изменениям внешнего вида кожи.

Дополнительно с увеличением УЗ-частот быстро растет предельный порог интенсивности кавитации, который связан с образованием свободных радикалов в ткани [15].

Хаутарц 2015 • 66:829–833 DOI 10.1007/s00105-015-3676-z © Автор(-ы) 2015. Эта статья доступна в открытом доступе на сайте [springerlink.com](http://springerlink.com)

I. Kruglikov

## Сверхвысокочастотный ультразвук. Новый метод терапии в эстетике и дерматологии

### Резюме

Сверхвысокочастотный ультразвук (СВЧ-УЗ) представляет новый метод терапии с широким спектром применения, как в дерматологии, так и в эстетической медицине. При этом для терапевтических целей применяются ультразвуковые волны с частотой от 10МГц, которые до сих пор нашли свое применение в диагностике. Подобные ультразвуковые волны имеют особые биофизические свойства, что делает возможным их применение, в т.ч. для лечения воспалительных заболеваний кожи, хронических ран,

гипертрофических рубцов, а также для антивозрастного лечения и улучшения внешнего вида кожи. СВЧ-УЗ можно применять не только в качестве самостоятельной методики, но и как поддерживающее лечение при профилактике и реабилитации процедур терапии, таких как лазерная терапия, радиоизлучение или инъекционный липолиз (расщепление жиров), а также в эстетически-пластиической хирургии.

### Ключевые слова

Частоты • Хронические раны • Антивозрастная медицина • Внешний вид кожи • Поддерживающий метод лечения

## Very high frequency ultrasound. New therapeutic method in aesthetic medicine and dermatology

### Abstract

Very high frequency ultrasound (VHF-US) is new therapy method with a broad application spectrum in dermatology and aesthetic medicine. In this method, ultrasound waves with frequencies over 10 MHz, which were for a long time only used in ultrasound diagnostics, are applied for therapeutic purposes. Such US waves demonstrate specific biophysical efficiencies which warrant their application for the treatment of the skin efflorescences, chronic wounds and hypertrophic scars as well as in anti-aging and skin improvement

procedures in aesthetic medicine. VHF-US can be applied not only for standalone treatments, but also as a supportive pre- and posttreatment method in combination with laser, radiofrequency currents, injection lipolysis, etc. as well as in aesthetic plastic surgery.

### Keywords

Skin rash • Chronic wounds • Anti-aging • Skin improvement • Supportive treatment methods

Соответственно, чтобы достичь кавитации, волны СВЧ-УЗ нуждаются в более высокой интенсивности, чем общепринятые УЗ-волны. Это практически полностью исключает кавитацию и её потенциальные побочные эффекты при использовании СВЧ-УЗ.

Контралатеральный контроль у 2 пациентов подтвердил локальный эффект методики. Уже после 1-2 недель регулярного лечения СВЧ-УЗ было выявлено улучшение внешнего вида кожи в среднем на 45%.

На **рис. 3** изображена пациентка с акне на 1-м триместре беременности, которая прошла курс терапии на LDM®. LDM® было выбрано как опция лечению, так как все результаты проведенных контралатеральных лечений показали локальное, а не системное действие этих методов лечения. Достигнутое после 5 сеансов терапии улучшение внешнего вида кожи осталось неизменным до конца беременности.

Использование СВЧ-УЗ в форме LDM®

## Клинические результаты

### Дерматология

Влияние СВЧ-УЗ с 10 МГц на акне и розацею было уже проверено в pilotном исследовании [13]. Пациентам во время фазы лечения нельзя было пользоваться другими методами лечения. 3 независимых дерматолога (2 из них были заслепленные) провели оценку эфлоресценции кожи по шкале Leeds (10 стадий).

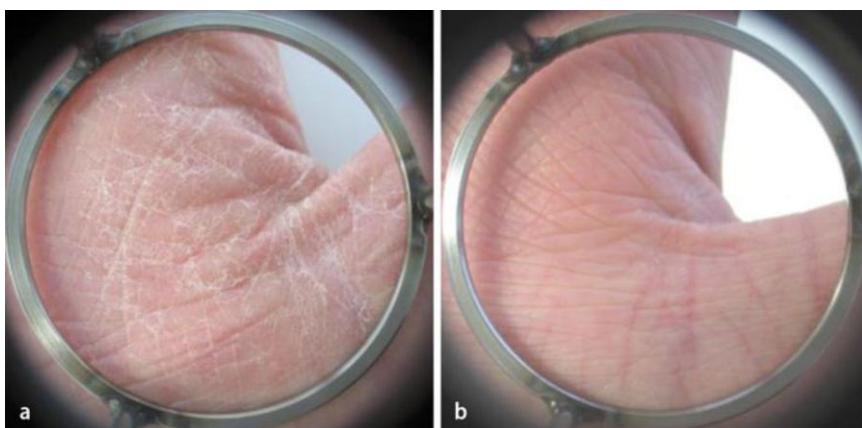


Рис. 5 экзема руки: **a** до (27.01.2009), **b** перед 4 лечением (06.02.2009)

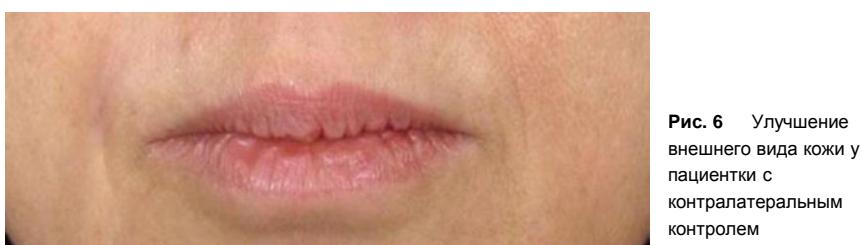


Рис. 6 Улучшение внешнего вида кожи у пациентки с контралатеральным контролем



Abb. 7 Улучшение внешнего вида кожи после 12 дней лечения с СВЧ-УЗ на 10 МГц

было, в том числе, протестировано на хронических ранах в пилотном исследовании на 10 пациентах с большими ( $> 5 \text{ см}^2$ ) хроническими ( $> 6$  месяцев) венозными язвами [11]. Все обрабатываемые раны, до конца курса лечения, были полностью ре-эпителиализованы. Последующие наблюдения (3 до 8 недель после последнего лечения) демонстрируют полное заживление ран. На рис. 4 наблюдается пример заживления ран у 70-летней пациентки с диабетической стопой. Дополнительно было показано, что применение СВЧ-УЗ также дает отличные результаты в посттравматических, неизлечимых ранах, [6] а также в

хронических ранах после тяжелых ожогов. Применение СВЧ-УЗ продемонстрировало быстрое и репродуктивное улучшение внешнего вида кожи при экземе, периоральном дерматите и псориазе (рис.5).

#### Эстетика

Антивозрастной эффект СВЧ-УЗ был проверен на 39 пациентах в ходе прагматического многоцентрового исследования [14]. Уход за кожей лица был проведен двойными УЗ-волнами (LDM®) 3/10 МГц. Результаты оценивали 4 независимых врача.

Все исследуемые признаки кожи (морщины, поры и упругость кожи) существенно улучшились после курса лечения из 8 – 12 терапий. Плацебо-эффект лечения был исключен контралатеральным контролем лица. Удовлетворение пациентов и врачей по 10-балльной шкале составляло 6,87 1,68 и 7,23 1,62 соответственно. рис. 6 показывает пример улучшения внешнего вида кожи у пациентки с контралатеральным контролем. рис. 7 демонстрирует улучшение внешнего вида кожи после 12 дней лечения с СВЧ-УЗ при 10 МГц.

» СВЧ-УЗ можно также использовать в качестве поддерживающего лечения в других эстетических методах.

СВЧ-УЗ можно применять не только в качестве самостоятельной методики, но и как поддерживающее лечение в эстетических методах терапии, таких как лазер и радиочастоты [5], вакуумный массаж в контурной пластике тела [9], инъекционный липолиз [26], криолиполиз [22], после кюретажа (выскабливания) потовых желез при гипергидрозе [30] и т.д.. Во всех этих исследованиях и во многих описаниях случаев было показано, что предшествующая терапия с СВЧ-УЗ значительно улучшает результаты основной клинической методики, в то время как последующая терапия СВЧ-УЗ значительно снизила воспалительную реакцию, болевые ощущения и период выздоровления.

#### Резюме для практики

- СВЧ-УЗ в виде моно- и дуо-частотных волн в дерматологии и в эстетике дает воспроизводимые результаты лечения, в т.ч. при различных воспалительных заболеваниях кожи, хронических ранах и гипертрофических рубцах, а также при некоторых важных эстетических показаниях, как например, антивозрастные или общие улучшения внешнего вида кожи.
- Данный метод безболезненный и практически без побочного эффекта, и поэтому отлично воспринимается пациентами.

- Дополнительно дуо-частотная терапия (LDM®) на базе СВЧ-УЗ может быть использована как поддерживающий метод лечения при различных свето- и радиочастотных терапиях, при инъекционном липолизе, при различных аугментационных лечениях, а также для подготовки и реабилитации в эстетически-пластической хирургии. При этом результаты лечения не только значительно улучшаются, но и также значительно сокращаются возникающие побочные эффекты и период выздоровления.

## Адрес для корреспонденции

Доц. д.е.н. И. Кругликов  
Вэлкомет ГмбХ  
Греческая, 2-4  
76229 Карлсруэ  
[i.kruglikov@wellcomet.de](mailto:i.kruglikov@wellcomet.de)

## Соблюдение этических норм

**Конфликт интересов.** И. Кругликов является управляющим компаньоном компании Вэлкомет ГмбХ

Данный доклад не содержит исследований на людях или животных.

**Открытый доступ.** Данная статья подлежит условиям лицензии Creative Commons «С указанием авторства». Таким образом, использование, распространение и воспроизведение допускаются, если указаны автор и источник.

## Литература

1. Atalay M, Oksala N, Lappalainen J et al (2009) Heat shock proteins in diabetes and wound healing. *Curr Prot Pept Sci* 10:85-95
2. Bommannan D, Okuyama H, Stauffer P et al (1992) Sonophoresis. I. The use of high-frequency ultrasound to enhance transdermal drug delivery. *Pharm Res* 9:559-564
3. Bommannan D, Menon GK, Okuyama H et al (1992) Sonophoresis. II. Examination of the mechanism(s) of ultrasound-enhanced transdermal drug delivery. *Pharm Res* 9:1043-1047
4. Emanuele E, Bertona M, Altabas K et al (2012) Anti-inflammatory effects of topical preparation containing nicotinamide, retinol, and 7-dehydrocholesterol in patients with acne: a gene expression study. *Clin Cosmet Investig Dermatol* 5:33-37
5. Gansel R (2015) Kombinationsverfahren mit Hautbildverbesserung. *Ästhet Dermatol.* (To be published)
6. Gohla T, Kruglikova E, Kruglikov I (2012) Treatment of non-healing, post-traumatic wound with high frequency ultrasound of 10 MHz: A case report. *Br J Med Med Res* 2:520-526
7. Kang S, Cho S, Chung JH et al (2005) Inflammation and extracellular matrix degradation mediated by activated transcription factors nuclear fact-KB and activator protein-1 in inflammatory acne lesions *in vivo*. *Am J Pathol* 166:1691-1699
8. Kang KS, Hong JM, Kang JA, et al (2013) Osteogenic differentiation of human adipose-derived stem cells can be accelerated by controlling the frequency of continuous ultrasound. *J Ultrasound Med* 32:1461-1470
9. Kruglikov I (2012) Biophysical basics of body treatments: a preliminary study into the correlation between washout and circumference reduction. *Am J Cosm Surg* 29:196-202
10. Kruglikov I, Sontag W (2010) Ultrasound of 10 MHz frequency as a novel strategy for skin anti-aging therapy. *Med Hypotheses* 74:620-621
11. Kruglikov IL, Kruglikova E (2011) Dual treatment strategy by venous ulcers: pilot study to dual-frequency ultrasound application. *J Cosm Dermatol Sci Appl* 1:157-163
12. McLennan SV, Min D, Yue DK (2008) Matrix metalloproteinases and their roles in poor wound healing in diabetes. *Wound Pract Res* 16:116-121
13. Meyer-Rogge D, Kruglikov I (2013) Pilot study into super-fractionation treatment strategy of acne and rosacea. *J Cosm Dermatol Sci Appl* 3:197-202
14. Meyer-Rogge D, Rosken F, Holzschuh P et al (2012) Facial skin rejuvenation with high frequency ultrasound: multicentre study of dual-frequency ultrasound. *J Cosm Dermatol Sci Appl* 2:68-73
15. Miller DL (2007). Overview of experimental studies of biological effects of medical ultrasound caused by gas body activation and inertial cavitation. *Prog Biophys Mol Biol* 93:314-330
16. Morris SD (2002) Heat shock proteins and the skin. *Clin Exp Dermatol* 27:220-224
17. Oberringer M, Baum HP, Jung V et al (1995) Differential expression of heat shock protein 70 in well healing and chronic human wound tissue. *Bio-chem Biophys Res Commun* 214:1009-1014
18. Polat BE, Hart D, Robert Langer R et al (2011) Ultrasound-mediated transdermal drug delivery: Mechanisms, scope, and emerging trends. *J Control Release* 152:330-348
19. Purwar R, Kraus M, Werfel T et al (2008) Modulation of keratinocyte-derived MMP-9 by IL-13: a possible role for the pathogenesis of epidermal inflammation. *J Invest Dermatol* 128:59-66
20. Reiss MJ, Han YP, Garcia E et al (2010) Matrix metalloproteinase-9 delays wound healing in a murine wound model. *Surgery* 147:295-302
21. Reno F, Grazianetti P, Stella M et al (2002) Release and activation of matrix metalloproteinase-9 during *in vitro* mechanical compression in hypertrophic scars. *Arch Dermatol* 138:475-478
22. Sandhofer M (2013) Zur Kryolipolyse in der dermatologischen Praxis. *Kosmet Med* 34:100-109
23. Schmidt BA, Horsley V (2013) Intradermal adipocytes mediate fibroblast recruitment during skin wound healing. *Develop 140:1517-1527*
24. Sontag W, Kruglikov I (2009) Expression of heat shock proteins after ultrasound exposure in HL-60 Cells. *Ultra Med Biol* 35:1032-1041
25. Tanrıverdi-Akhisaroglu S, Menderes A, Oktay G (2009) Matrix metalloproteinase-2 and -9 activities in human keloids, hypertrophic and atrophic scars: a pilot study. *Cell Biochem Func* 27:81-87
26. Tausch I, Kruglikov I (2015) The benefit of supportive application of dual-frequency ultrasound in patients treated by injection lipolysis. *J Clin Aesth Dermatol* 8:20-24
27. Totan S, Echo A, Yuksel E (2011) Heat shock proteins modulate keloid formation. *Eplasty* 11:190202
28. Uhlemann C, Wollina U (2003) Wirkungsphysiologische Aspekte des therapeutischen Ultraschalls in der Wundbehandlung. *Phlebol* 32:81-85
29. Weichenthal M, Mohr P, Stegman W et al (1997) Low-Frequency ultrasound treatment of chronic venous ulcers. *Wound Rep Regen* 5:18-22
30. Weidmann M (2015) Application of dual-frequency ultrasound improves the induration by patients with axillary hyperhidrosis treated by suction-curettage. *J Clin Aesth Dermatol.* (To be published)
31. Wegrowski Y (1993) Effect of hyperthermia on the extracellular matrix. I. Heat enhances hyaluronan and inhibits sulphated glycosaminoglycan synthesis. *FEBS Lett* 334:121-124