



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012135506/14, 19.01.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.01.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
19.01.2010 US 61/296,376

(43) Дата публикации заявки: 27.02.2014 Бюл. № 6

(45) Опубликовано: 27.09.2014 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US2008183200 A1, 31.07.2008.
US2005015023 A1, 20.01.2005. US6325769 B1,
04.12.2001. US2008146971 A1, 19.06.2008.
RU2121812 C1, 20.11.1998. RU2151559 C1,
27.06.2000(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 20.08.2012(86) Заявка РСТ:
US 2011/021692 (19.01.2011)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/091020 (28.07.2011)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

КАПЕЛЛИ Кристофер С. (US)

(73) Патентообладатель(и):

**ДЗЕ БОРД ОФ РИДЖЕНТС ОФ ДЗЕ
ЮНИВЕРСИТИ ОФ ТЕХАС СИСТЕМ
(US)****(54) УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН И СПОСОБЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам терапевтического использования ударных волн. Устройство для генерации терапевтических ударных волн содержит генератор акустических волн с частотой между 1 МГц и 1000 МГц, соединенный с ним корпус и среду в корпусе, выполненную с возможностью проявлять нелинейные свойства в присутствии по меньшей мере одной распространяющейся акустической волны. Устройство выполнено с возможностью распространения по меньшей мере части

испускаемых акустических волн через среду, чтобы формировать одну или несколько ударных волн. Способ генерации терапевтических ударных волн заключается в предоставлении множества акустических волн, имеющих по меньшей мере одну частоту по меньшей мере 1 МГц, их распространении через среду в корпусе и генерацию одной или нескольких ударных волн от распространения по меньшей мере части акустических ударных волн через среду. Использование изобретения позволяет



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012135506/14, 19.01.2011**

(24) Effective date for property rights:
19.01.2011

Priority:

(30) Convention priority:
19.01.2010 US 61/296,376

(43) Application published: **27.02.2014** Bull. № 6

(45) Date of publication: **27.09.2014** Bull. № 27

(85) Commencement of national phase: **20.08.2012**

(86) PCT application:
US 2011/021692 (19.01.2011)

(87) PCT publication:
WO 2011/091020 (28.07.2011)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

KAPELLI Kristofer S. (US)

(73) Proprietor(s):

**DZE BORD OF RIDZhENTS OF DZE
JuNIVERSITI OF TEKhas SISTEM (US)**

(54) **DEVICES AND SYSTEMS FOR GENERATING HIGH-FREQUENCY SHOCK WAVES AND METHODS FOR USE THEREOF**

(57) Abstract:

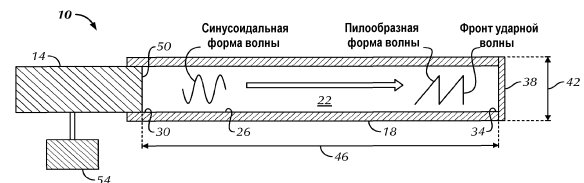
FIELD: physics, acoustics.

SUBSTANCE: invention relates to means of therapeutic use of shock waves. The device for generating therapeutic shock waves includes acoustic wave generator with frequency between 1 MHz and 1000 MHz, a housing connected to the acoustic wave generator and a medium in the housing, which is configured to demonstrate nonlinear properties in the presence of at least one propagating acoustic wave. The device is configured to propagate at least a portion of the emitted acoustic waves through the medium in order to generate one or more shock waves. The method of generating therapeutic shock waves includes providing a plurality of acoustic waves having at least one

frequency of at least 1 MHz, propagation thereof through the medium in the housing and generating one or more shock waves from propagation of at least a portion of the acoustic shock waves through the medium.

EFFECT: use of the invention provides more coordinated therapeutic action with shock waves.

25 cl, 1 dwg



ФИГ.1

RU 2 529 625 C2

RU 2 529 625 C2

Связанная заявка

[0001] По данной заявке испрашивается приоритет предварительной заявки США № 61/296376, поданной 19 января 2010 года, которая включена в данное описание в полном объеме.

5 Область техники изобретения

[0002] Настоящее изобретение в основном относится к терапевтическому использованию ударных волн. Более конкретно, но не в качестве ограничения, настоящее изобретение относится к устройству для генерации терапевтических ударных волн (ударных волн для терапевтического использования).

10 Информация об уровне техники

[0003] Ударные волны можно использовать в определенной медицинской и эстетической терапии. С начала 1980-х ударные волны использовали в форме экстракорпоральной литотрипсии, в которой импульсы можно использовать для формирования ударных фронтов для фрагментации почечных камней. Источник ударной
15 волны в литотрипсии типично генерируют посредством разряда электрической энергии между тестовыми электродами.

[0004] Позже описано использование ударных волн в медицинской терапии, в которой ударные волны могут не возникать из разряда электрической энергии между тестовыми электродами. Например, в патенте США № 6325769 автора Peter J. Klopotek описан
20 способ и устройство для уменьшения морщин на коже, включающие применение сфокусированного ультразвукового луча к области кожи человека для генерации ударной волны, чтобы механически разрушать слой дермы в определенной области кожи с тем, чтобы вызывать изменения в слое дермы кожи, которые ведут к изменению гладкости слоя эпидермиса кожи. В патенте Klopotek раскрыто, что акустические
25 импульсы, используемые для лечения кожи, имеют амплитуды давления, которые достаточно высоки, чтобы вводить нелинейность. Результатом этой нелинейности является искажение формы волны импульсов, которые проходят через кожу. Эти формы волны превращают типичный гауссовский профиль амплитуды (давления) в форму волны, которая имеет значительно более острый ведущий край. Klopotek заявляет, что
30 форма волны представляла собой «по существу «ударную волну» в области мишени под поверхностью кожи». Кроме того, Klopotek утверждает, что в режиме нормального распространения волны, по существу отсутствует перемещение дермального вещества. Однако, когда акустические волны проявляют нелинейность, дермальная ткань перемещается, создавая отрицательное давление или эффект вакуума, в ткани в следе
35 импульса, который может вызывать повреждение ткани, разрывая структуры ткани, нагревая определенную область и, тем самым, запуская синтез новой соединительной ткани.

[0005] Проблема, связанная с генерацией ударных волн, как описано автором Klopotek, состоит в том, что ее нельзя предсказать. Как описано автором Klopotek, ударные волны
40 формируются, когда они проходят через кожу, в силу нелинейных свойств кожной ткани. Формирование ударной волны зависит от частоты и амплитуды акустических волн. Дополнительно, формирование ударной волны зависит от среды, в которой проходит волна. В зависимости от частоты, амплитуды и среды расстояние от головки преобразователя, на котором формируется ударная волна, относительно велико и
45 может существенно варьироваться в зависимости от типа ткани. В результате, вплоть до сегодняшнего дня вследствие вариаций в нелинейности ткани, которая подлежит лечению, создание согласованных высокочастотных ударных волн, подходящих для терапии, является затруднительным.

Сущность изобретения

[0006] Раскрытие изобретения включает варианты осуществления устройств и способов для генерации терапевтических ударных волн.

5 [0007] Некоторые варианты осуществления настоящих устройств для генерации терапевтических ударных волн содержат: генератор акустических волн, выполненный с возможностью испускания акустических волн, имеющих по меньшей мере одну частоту между 1 МГц и 1000 МГц; корпус ударных волн, соединенный с генератором акустических волн; и среду ударных волн, расположенную в корпусе ударных волн; при этом устройство выполнено так, что если генератор акустических волн испускает
10 акустические волны, то по меньшей мере некоторая часть акустических волн будет проходить через среду ударных волн и формировать одну или несколько ударных волн. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн едина с корпусом ударных волн. В некоторых вариантах осуществления корпус ударных волн и среда ударных волн содержат силикон. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн содержит один или более пузырьков. В некоторых вариантах осуществления корпус ударных волн определяет камеру, и среда ударных волн расположена в камере. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн содержит текучее вещество. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн содержит гель. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн содержит жидкость.

20 [0008] В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн выполнена так, что в присутствии акустических волн от генератора акустических волн среда ударных волн будет проявлять нелинейные свойства. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн содержит одно или более из: пузырьков, твердых частиц или комбинацию пузырьков и твердых частиц. В некоторых вариантах осуществления среда ударных волн содержит одно или более из: воды, глицерина, полиэтиленгликоля (ПЭГ), пропиленгликоля, силиконового масла, спирта или комбинацию из двух или более из них.

[0009] В некоторых вариантах осуществления корпус ударных волн определяет камеру, которая имеет впускной конец, соединенный с генератором акустических волн,
30 и выпускной конец, отстоящий от генератора акустических волн, и корпус ударных волн содержит торцевую крышку, которая закрывает выпускной конец камеры. В некоторых вариантах осуществления камера имеет круглую форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления камера имеет прямоугольную форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления камера имеет квадратную форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления камера имеет овальную форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления камера имеет треугольную форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления торцевая крышка выполнена с обеспечением возможности ударным волнам выходить из выпускного конца камеры ударных волн. В некоторых вариантах осуществления торцевая крышка выполнена таким образом, что ослабление ударной волны, выходящей из торцевой крышки, будет составлять менее чем двадцать процентов. В некоторых вариантах осуществления торцевая крышка содержит по меньшей мере одно из: полимера, гидрогеля, пластмассы или силикона. В некоторых вариантах осуществления впускной конец камеры имеет поперечный внутренний размер по меньшей мере такой,
40 как соответствующий поперечный внешний размер генератора акустических волн. В некоторых вариантах осуществления камера имеет по существу постоянное поперечное сечение между впускным концом и выпускным концом. В некоторых вариантах осуществления камера имеет варьирующееся поперечное сечение между впускным

концом и выпускным концом.

[0010] В некоторых вариантах осуществления корпус ударных волн выполнен так, что если акустические волны попадают на корпус ударных волн из внутренней части камеры ударных волн, то корпус ударных волн будет отражать по меньшей мере некоторую часть падающих акустических волн назад в камеру ударных волн. В некоторых вариантах осуществления расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры составляет от 100 до 1000 процентов от по меньшей мере одного внутреннего поперечного размера камеры. В некоторых вариантах осуществления расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры составляет от 100 до 1000 процентов от минимального внутреннего поперечного размера камеры. В некоторых вариантах осуществления расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры составляет от 300 до 900 процентов от по меньшей мере одного внутреннего поперечного размера камеры. В некоторых вариантах осуществления расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры составляет от 400 до 800 процентов от по меньшей мере одного внутреннего поперечного размера камеры.

[0011] В некоторых вариантах осуществления расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры более чем или равно:

$$L = \frac{c_0^3 \rho_0}{\epsilon \omega P_0} = \frac{\lambda}{2\pi M_\omega}$$

где ϵ - нелинейный параметр среды ударных волн; ω - частота акустической волны; ρ_0 - плотность среды ударных волн; λ - длина акустической волны; c_0 - скорость звука в среде ударных волн; P_0 - амплитуда давления в среде ударных волн; и M_ω - акустическое число Маха = $P_0 \div (c_0^2 \rho_0)$.

[0012] В некоторых вариантах осуществления генератор акустических волн содержит ультразвуковую головку. В некоторых вариантах осуществления генератор акустических волн содержит керамику. В некоторых вариантах осуществления генератор акустических волн содержит пьезоэлектрический акустический элемент.

[0013] Некоторые варианты осуществления дополнительно содержат: контроллер, соединенный с генератором акустических волн и выполненный с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны. В некоторых вариантах осуществления контроллер выполнен с возможностью корректировать генератор акустических волн, чтобы варьировать по меньшей мере одно из амплитуды и частоты акустических волн, испускаемых генератором акустических волн. В некоторых вариантах осуществления контроллер выполнен с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы непрерывно испускать акустические волны в течение определенного периода времени. В некоторых вариантах осуществления контроллер выполнен с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны в прерывистой последовательности включения-выключения. В некоторых вариантах осуществления контроллер выполнен с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны в периодической последовательности включения-выключения.

[0014] В некоторых вариантах осуществления генератор акустических волн представляет собой первый генератор акустических волн, и устройство дополнительно содержит второй генератор акустических волн, выполненный с возможностью испускать

акустические волны, которые имеют по меньшей мере одну частоту между 1 МГц и 1000 МГц, при этом корпус ударных волн также соединен со вторым генератором акустических волн, устройство выполнено так, что если второй генератор акустических волн испускает акустические волны, то по меньшей мере некоторая часть акустических волн будет проходить через среду ударных волн и формировать одну или несколько ударных волн, и контроллер также соединен со вторым генератором акустических волн и выполнен с возможностью приводить в действие второй генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны. В некоторых вариантах осуществления контроллер выполнен с возможностью приводить в действие первый и второй генераторы акустических волн так, что акустические волны, испускаемые вторым генератором акустических волн, не совпадают по фазе с волнами, которые испускает первый генератор акустических волн.

[0015] В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью генерировать ударные волны, обладающие интенсивностью от 50 до 1000 ватт на квадратный сантиметр ($\text{Вт}/\text{см}^2$). В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью генерировать ударные волны, обладающие интенсивностью от 100 до 500 $\text{Вт}/\text{см}^2$. В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью генерировать 100 или более ударных волн в минуту. В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью генерировать 500 или более ударных волн в минуту. В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью генерировать 1000 или более ударных волн в минуту.

[0016] В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 3 фута, ширину 2 фута и высоту 2 фута. В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 3 фута, ширину 1 фут и высоту 1 фут. В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 2 фута, ширину 1 фут и высоту 1 фут. В некоторых вариантах осуществления устройство выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 1 фут, ширину 8 дюймов и высоту 8 дюймов.

[0017] Некоторые варианты осуществления настоящих способов генерации терапевтических ударных волн содержат предоставление любого из настоящих устройств и приведение в действие устройства для генерации одной или нескольких ударных волн. Некоторые варианты осуществления дополнительно содержат размещение устройства смежно с тканью пациента так, что по меньшей мере одна ударная волна входит в ткань. В некоторых вариантах осуществления ткань является кожной тканью на лице пациента.

[0018] Некоторые варианты осуществления настоящих способов генерации терапевтических ударных волн содержат приведение в действие генератора акустических волн, чтобы испускать акустические волны, обладающие по меньшей мере одной частотой между 1 МГц и 1000 МГц, так, что по меньшей мере некоторая часть акустических волн проходит через среду ударных волн, которая расположена в корпусе ударных волн, чтобы формировать одну или несколько ударных волн.

[0019] Любой вариант осуществления любой из настоящих систем и/или способов может состоять из или по существу состоять из, вместо того чтобы содержать/включать/содержать в себе/иметь, любых из описанных этапов, элементов и/или признаков. Таким образом, в любом из пунктов формулы изобретения термин «состоит из» или «по существу состоит из» можно заменить на любой из неограничивающих связывающих

глаголов, перечисленных выше, чтобы изменить объем данного пункта формулы изобретения относительно того, что он представлял бы собой при использовании неограничивающего связывающего глагола.

5 [0020] Подробности, связанные с описанными выше и другими вариантами осуществления, представлены ниже.

Краткое описание чертежей

10 [0021] Следующие чертежи приведены в качестве примера, а не ограничения. С целью краткости и прозрачности, каждый признак данной структуры не всегда помечен на каждой фигуре, на которой эта структура встречается. Идентичные ссылочные номера не обязательно обозначают идентичную структуру. Предпочтительно тот же ссылочный номер можно использовать для обозначения схожего признака или признака со схожей функциональностью, как можно для неидентичных ссылочных номеров.

[0022] На фиг.1 изображен один из вариантов осуществления настоящих устройств для генерации терапевтических ударных волн.

15 Описание иллюстративных вариантов осуществления

[0023] Термин «соединенный» определяют связанный, хотя и не обязательно непосредственно и не обязательно механически, два объекта, которые «соединены», могут быть нераздельны друг с другом. Термины в единственном числе определены как один или несколько до тех пор, пока раскрытие в явной форме не требует иного.
20 Термины «по существу», «приблизительно» и «примерно» определены как в значительной степени, но не обязательно полностью точно как определено, как понимает специалист в данной области.

[0024] Термины «содержать» (и любая его форма, такая как «содержит» и «содержащий»), «иметь» (и любая его форма, такая как «имеет» и «имеющий»),
25 «включать» (и любая его форма, такая как «включает» и «включающий») и «содержать в себе» (и любая его форма, такая как «содержит в себе» и «содержащий в себе») представляют собой неограничивающие связывающие глаголы. Как результат, способ, который «содержит», «имеет», «включает» или «содержит в себе» один или несколько этапов, обладает этими одним или несколькими этапами, но не ограничен обладанием
30 только этими одним или несколькими этапами. Аналогичным образом крышечка, которая «содержит», «имеет», «включает» или «содержит в себе» один или несколько элементов, обладает этими одним или несколькими элементами, но не ограничена обладанием только этими элементами. Например, крышечка, которая содержит корпус и внутренний элемент, включает точно определенные элементы, но не ограничена
35 обладанием только этими элементами. Например, такая крышечка также может включать закрывающий элемент.

[0025] Кроме того, устройство или структура, которая выполнена определенным образом, выполнена по меньшей мере таким образом, но также может быть выполнена другим образом, отличным от этого конкретно описанного.

40 [0026] Для генерации терапевтических ударных волн из акустических волн существует множество соображений. Например, классический эффект нелинейной акустики заключается в том, что плоская синусоидальная акустическая волна, распространяющаяся в нелинейной среде, типично превращается в пилообразную волну с одним ударом на цикл. В прошлом продемонстрировано, что воздействие
45 высокоэнергетического ультразвукового излучения на клетки в условиях, исключающих деградацию, вызванную тепловой кавитацией, сопровождалось структурной модификацией макромолекул, ядер и внутриклеточных субмикроскопических комплексов (Burov, 2002). Под воздействием ударной волны ускорение структур внутри

клетки из-за фронта влияния может быть очень большим. В то же время эластичность биологических структур, подвергающихся воздействию таких больших градиентов давления, часто значительно снижается. В этих условиях клеточные структуры могут вести себя как низкоподатливые вещества. Как результат, даже вроде бы незначительная деформация может вызывать разрушение клетки. Вдобавок, быстро меняющиеся механические нагрузки, периодически прикладываемые к структурам с высокой частотой, могут вести к усталостному разрушению (Burov, 2002).

[0027] Ткани можно модифицировать с использованием ультразвуковых волн посредством модификации макромолекул, мембран, ядер и внутриклеточных субмикроскопических комплексов. Прогрессивное нелинейное искажение формы волны может вести к формированию фронтов влияния давления или ударных волн, которые вызывают деформацию и повреждение клеток и субклеточных структур. Более конкретно, прогрессивное нелинейное искажение длины волны может привести к формированию фронтов влияния, которые периодически следуют друг за другом с частотой f . В (Burov, 2002) описано, что длительность фронта может быть значительно короче, чем период $1/f$, как показано в уравнении (1):

$$t = \frac{b}{\epsilon} (2I\rho c)^{1/2} \quad (1)$$

где b представляет собой эффективную вязкость; ϵ представляет собой нелинейный коэффициент; ρ и c представляют собой среднюю плотность и скорость звука соответственно. В результате этой ударной волны при ее короткой длительности ускорение частиц с более высокой плотностью в клеточной структуре, подвергающейся воздействию фронта влияния, типично является очень высоким. Одновременно эластичность биологических структур с более низкой плотностью, составляющих клеточную структуру, подвергающуюся воздействию такого большого градиента давления, значительно снижается, и, как правило, они ведут себя как низкоподатливое вещество. Несоответствие между биологическими структурами внутри клетки и способностью клетки испытывать деформацию, когда она подвергается воздействию фронта влияния, ведет к разрушению клетки (Burov, 2002).

[0028] Несмотря на то что клетка может совершать колебания в виде цельной единицы, когда на нее воздействуют эти фронты давления, резкие градиенты механического напряжения можно генерировать внутри клетки в качестве результата параметров пространственной гетерогенности (т.е. плотности и модуля упругости при сдвиге). В (Burov, 2002) это проиллюстрировано с помощью моделирования биологической структуры в виде двух связанных шаров с массами m_1 и m_2 и плотностью (ρ_0) жидкости, совершающей колебания вокруг шаров со скоростью $\mu_0(t)$, которая незначительно отличается от плотностей шаров (ρ_1 и ρ_2 соответственно). Если принимать во внимание только устойчивость к потенциальному течению, то силу, прикладываемую к связи, вычисляют, как показано в уравнении (2):

$$F = \frac{2}{3} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{[\rho_1 - \rho_2]}{\rho_0} \mu_0(t) \quad (2)$$

Например, если радиус шара (R) составляет примерно 10 мкм и разность между плотностями шаров составляет $0,1 \rho_0$, это ведет к силе напряжения $F/(\pi R^2)m$, составляющей 10^9 дин/см². Согласно Burov, это по существу превышало разрушающее напряжение клеточной мембраны.

[0029] Далее на чертежах и более конкретно на фиг.1 представлен и обозначен

номером позиции 10 один из вариантов осуществления настоящих устройств для генерации терапевтических ударных волн (например, высокочастотных ударных волн), например, таких, которые можно доставлять в ткань пациента (например, пациента-человека). В показанном варианте осуществления устройство 10 содержит: генератор 14 акустических волн, корпус 18 ударных волн, соединенный с генератором 14 акустических волн, и среду ударных волн 22, расположенную в корпусе 18 ударных волн. В показанном варианте осуществления генератор 14 акустических волн выполнен с возможностью испускания акустических волн, имеющих по меньшей мере одну частоту между 1 мегагерцем (МГц) и 1000 МГц (например, 1 МГц, 2 МГц и т.д.) (и/или по меньшей мере одну длину волны, соответствующую по меньшей мере одной частоте между 1 МГц и 1000 МГц, например, в среде 22 ударных волн или в эталонной среде, например атмосферном воздухе). В показанном варианте осуществления генератор 14 акустических волн содержит ультразвуковую головку (например, коммерчески доступную ультразвуковую головку). В некоторых вариантах осуществления генератор 14 акустических волн содержит керамику и/или пьезоэлектрический акустический элемент. Устройство 10 выполнено так, что если генератор 14 акустических волн испускает акустические волны, то по меньшей мере некоторая часть акустических волн будет проходить через среду 22 ударных волн и формировать одну или несколько ударных волн (например, в или рядом с корпусом 18 ударных волн). Например, корпус 18 ударных волн (и среда 22 ударных волн) может иметь длину, достаточную для того, чтобы сделать возможной трансформацию акустических волн в ударные волны; и/или генератор 14 акустических волн можно приводить в действие, чтобы испускать акустические волны с достаточной амплитудой и частотой, чтобы индуцировать формирование ударной волны (или волны ударно-волнового типа) в ударной камере. В качестве другого примера прогрессивное нелинейное искажение длины волны акустических волн в среде 22 ударных волн может привести к формированию фронтов влияния давления или ударных волн, которые могут вызывать деформацию и/или разрушение клеток (например, когда ударные волны применяют с интенсивностью и в течение определенного периода времени, достаточных для того, чтобы поражать ткань). В некоторых вариантах осуществления генератор 14 акустических волн выполнен с возможностью испускания акустических волн с мощностью излучения пучка между примерно, или по существу равным, 5 и 1000 ваттами на квадратный сантиметр ($\text{Вт}/\text{см}^2$) (например, от 100 до 500 $\text{Вт}/\text{см}^2$, от 100 до 400 $\text{Вт}/\text{см}^2$). В некоторых вариантах осуществления устройство 10 выполнено с возможностью генерировать 100 или более ударных волн в минуту (например, 200, 300, 400, 500, 1000, 2000, 5000 или более ударных волн в минуту).

[0030] Устройство 10, например, можно приводить в действие, чтобы предсказуемо и/или постоянно генерировать ударные волны, которые можно доставлять в ткань вблизи от устройства 10, например, чтобы вызывать повреждение клеток в ткани (например, для медицинского и/или эстетического терапевтического использования). Некоторые варианты осуществления устройства 10 можно конфигурировать, чтобы предоставлять или генерировать ударные волны при энергетическом уровне, достаточном для того, чтобы вызывать разрушающее мембраны повреждение клеток. Например, когда целевую ткань подвергают высокочастотным ударным волнам, резкие градиенты механического напряжения можно генерировать внутри клетки в результате параметров пространственной гетерогенности (т.е. плотности и модуля упругости при сдвиге).

[0031] В показанном варианте осуществления корпус 18 ударных волн определяет

камеру 26, а среда 22 ударных волн (или среды) расположена в камере 26. Корпус 18 может содержать, например, полимер, пластмассу, силикон, металл и/или любой другой подходящий материал. Среда 22 ударных волн может содержать материал, который проявляет или способен испытывать нелинейности в присутствии акустических волн, генерируемых или испускаемых генератором 14 акустических волн. Эти нелинейности могут индуцироваться дифракцией ультразвуковых волн от стенки корпуса 18 ударных волн. Дополнительно или альтернативно, нелинейности могут возникать из неоднородностей, индуцируемых ультразвуковыми волнами, проходящими через среду 22 ударных волн (или среды). Кроме того, нелинейности могут возникать от включения частиц или пузырьков в среды (т.е. пузырьков газа, наночастиц и т.д.). В некоторых вариантах осуществления среда 22 ударных волн содержит текучее вещество. В некоторых вариантах осуществления среда 22 ударных волн содержит гель. В некоторых вариантах осуществления среда 22 ударных волн содержит жидкость. В некоторых вариантах осуществления среда 22 ударных волн выполнена так, что в присутствии акустических волн от генератора 14 акустических волн среда 22 ударных волн будет проявлять нелинейные свойства. В некоторых вариантах осуществления среда 22 ударных волн содержит одно или несколько из: воды, глицерина, полиэтиленгликоля (ПЭГ), пропиленгликоля, силиконового масла, спирта или комбинацию двух или более из них. В некоторых вариантах осуществления среда 22 ударных волн содержит одно или несколько из: пузырьков (например, пузырьков газа), твердых частиц или комбинацию пузырьков и твердых частиц. Пузырьки газа можно вводить в среду 22, например, посредством добавления газа, такого как диоксид углерода, и/или можно вводить в форме стабилизированных пузырьков газа, находящихся в ультразвуковых контрастных веществах или в качестве части наночастиц.

[0032] Дополнительно в показанном варианте осуществления корпус 18 ударных волн определяет камеру 26, которая имеет впускной конец 30, соединенный с генератором 14 акустических волн, и выпускной конец 34, отстоящий от генератора 14 акустических волн. Некоторые варианты осуществления корпуса 18 ударных волн также могут включать торцевую крышку 38, закрывающую выпускной конец 34 камеры 26. В показанном варианте осуществления камера 26 имеет круглую форму поперечного сечения. В других вариантах осуществления камера 26 имеет прямоугольную, квадратную, овальную, треугольную, восьмиугольную и/или любую другую подходящую форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления корпус 18 ударных волн выполнен так, что расстояние 42 от генератора 14 акустических волн (например, на впускном конце 30 камеры 26) до выпускного конца 34 камеры 26 составляет от 100 до 1000 процентов от по меньшей мере одного (например, минимального) внутреннего поперечного размера (например, диаметра 42) камеры 26. В некоторых вариантах осуществления расстояние 46 от генератора 14 акустических волн (например, на впускном конце 30 камеры 26) до выпускного конца 34 камеры 26 составляет от 300 до 900 процентов (и/или от 400 до 800 процентов) от по меньшей мере одного (например, минимального) внутреннего поперечного размера (например, диаметра 42) камеры.

[0033] В некоторых вариантах осуществления впускной конец 30 камеры 26 имеет поперечный внутренний размер (например, диаметр 42) по меньшей мере такой же величины, как соответствующий поперечный внешний размер генератора 14 акустических волн (например, на выходном конце 50). Например, в показанном варианте осуществления диаметр 42 камеры 26 является по меньшей мере таким же (например, немного больше, чем), как наружный диаметр соответствующей части (например, выходного конца 50) генератора 14 акустических волн. В других диаметрах, диаметр

42 может быть больше (например, и/или прокладку или соединитель можно использовать для соединения корпуса 18 с выходным концом 50 генератора акустических волн). В показанном варианте осуществления камера 26 имеет по существу постоянное поперечное сечение между впускным концом 30 и выпускным концом 34. В других вариантах осуществления камера 26 имеет варьирующееся поперечное сечение между впускным концом 30 и выпускным концом 34.

[0034] В некоторых вариантах осуществления подходящая длина 46 камеры ударных волн 26 представляет собой функцию нелинейного параметра, амплитуды давления, частоты ультразвуковой волны, плотности среды 22 и скорости звука в среде 22. Например, расстояние 46 от генератора 14 акустических волн (например, на впускном конце 30 камеры 26) до выпускного конца 34 камеры 26 может быть более чем или равно величине, определяемой уравнением (3):

$$L = \frac{c_0^3 \rho_0}{\epsilon \omega P_0} = \frac{\lambda}{2\pi M_\omega} \quad (3)$$

где ϵ - нелинейный параметр среды ударных волн; ω - частота акустической волны; ρ_0 - плотность среды ударных волн; λ - длина акустической волны; c_0 - скорость звука в среде ударных волн; P_0 - амплитуда давления в среде ударных волн; и M_ω - акустическое число Маха = $P_0 / (c_0^2 \rho_0)$. В целом, чем выше частота и/или выше интенсивность, тем меньше должна быть длина 46 камеры 26, чтобы сделать возможным формирование ударной волны на выпускном конце 34 или перед ним (и/или перед торцевой крышкой 38) камеры 26.

[0035] Дополнительно в показанном варианте осуществления корпус 18 ударных волн выполнен так, что если акустические волны падают на корпус 18 ударных волн изнутри камеры 26 ударных волн, то корпус 18 ударных волн будет отражать по меньшей мере некоторую часть падающих акустических волн назад в камеру 26 ударных волн.

[0036] В показанном варианте осуществления торцевая крышка 38 выполнена с возможностью закрывать выпускной конец 34 камеры 26 так, что по существу предотвращает выход среды 22 из камеры 26, и позволять ударным волнам выходить из выпускного конца 34 камеры ударных волн 26. В некоторых вариантах осуществления торцевая крышка 38 выполнена так, чтобы иметь низкое ослабление ударной волны (например, такое, что ослабление ударной волны, выходящей из торцевой крышки 38, будет составлять менее чем двадцать процентов) и/или низкое отражение ударной волны. В некоторых вариантах осуществления торцевая крышка 38 содержит по меньшей мере одно из: полимера, гидрогеля, мембраны, пластмассы или силикона.

[0037] В других вариантах осуществления среда 22 ударных волн едина с корпусом 18 ударных волн (например, содержит тот же блок материала). В некоторых вариантах осуществления корпус 18 ударных волн и среда 22 ударных волн содержат силикон. В других вариантах осуществления среда 22 ударных волн содержит один или несколько пузырьков (например, пузырьков газа или тому подобного).

[0038] В показанном варианте осуществления устройство 10 дополнительно содержит контроллер 54, соединенный с генератором 14 акустических волн и выполненный с возможностью приводить в действие генератор 14 акустических волн, чтобы испускать акустические волны. Контроллер 54 может содержать любое надлежащее запрограммированное аппаратное обеспечение, такое как, например, процессор с памятью, программируемый логический контроллер (PLC) и персональный цифровой помощник (PDA) и/или тому подобное. Несмотря на то что проиллюстрирован в виде

отдельного компонента, контроллер 54 можно встраивать в генератор 14 акустических волн (например, совместно использовать общий корпус). В некоторых вариантах осуществления контроллер 54 выполнен с возможностью корректировать генератор 14 акустических волн, чтобы варьировать по меньшей мере одно из амплитуды и частоты акустической волны, испускаемой генератором 14 акустических волн. В некоторых вариантах осуществления контроллер 54 выполнен с возможностью приводить в действие генератор 14 акустических волн, чтобы непрерывно испускать акустические волны в течение определенного периода времени (например, когда генератор акустических волн приводят в состояние «включено»). В некоторых вариантах осуществления контроллер 54 выполнен с возможностью приводить в действие генератор 14 акустических волн, чтобы испускать акустические волны в периодической последовательности включения-выключения (например, последовательность с регулярными, периодическими интервалами). В некоторых вариантах осуществления контроллер 54 выполнен с возможностью приводить в действие генератор 14 акустических волн, чтобы испускать акустические волны в прерывистой последовательности включения-выключения (например, непериодическая последовательность без регулярных, периодических интервалов). Приведение в действие генератора 14 акустических волн в последовательности включения-выключения может, например, снижать образование тепла в ткани. В некоторых вариантах осуществления контроллер 54 выполнен с возможностью приводить в действие генератор 14 акустических волн, чтобы испускать акустические волны в последовательности включения-выключения и чтобы корректировать длительность «включенных» и/или «выключенных» частей последовательности включения-выключения, основываясь на или в ответ на измеренную и/или предсказанную температуру. Например, температуру можно измерять термометром (например, инфракрасным термометром), соединенным с контроллером 54, и/или контроллер 54 может быть выполнен с возможностью предсказывать температуру ткани, основываясь, по меньшей мере частично, на интенсивности и/или других свойствах акустической волны, испускаемой генератором 14 акустических волн, и/или ударной волны, генерируемой в корпусе 18 или доставляемой в ткань.

[0039] В некоторых вариантах осуществления генератор 14 акустических волн представляет собой первый генератор акустических волн, и устройство 10 дополнительно содержит второй генератор акустических волн (не показан), выполненный с возможностью испускать акустические волны, обладающие по меньшей мере одной частотой между 1 МГц и 1000 МГц; при этом корпус 18 ударных волн также соединен со вторым генератором акустических волн. В таких вариантах осуществления устройство 10 выполнено с такой возможностью, что если второй генератор акустических волн испускает акустические волны, то по меньшей мере некоторая часть акустических волн будет проходить через среду или среды 22 ударных волн и формировать одну или несколько ударных волн. Некоторые из этих вариантов осуществления дополнительно содержат контроллер 54, соединенный со вторым генератором акустических волн и выполненный с возможностью приводить в действие второй генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны. В некоторых вариантах осуществления контроллер 54 выполнен с возможностью приводить в действие первый генератор акустических волн 14 и второй генератор акустических волн (не показано) так, что акустические волны, которые испускает второй генератор акустических волн, не совпадают по фазе с волнами, которые испускает первый генератор 14 акустических волн.

[0040] В некоторых вариантах осуществления устройство 10 выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 3 фута, ширину 2 фута и высоту 2 фута. В некоторых вариантах осуществления устройство 10 выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 3 фута, ширину 1 фут и высоту 1 фут. В некоторых вариантах осуществления устройство 10 выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 2 фута, ширину 1 фут и высоту 1 фут. В некоторых вариантах осуществления устройство 10 выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 1 фут, ширину 8 дюймов и высоту 8 дюймов.

[0041] Варианты осуществления настоящих устройств (например, устройства 10) можно использовать для уменьшения морщин. Например, некоторые варианты осуществления настоящих способов генерации терапевтических ударных волн включают предоставление любого из настоящих устройств (например, устройства 10) и приведение в действие устройства для генерации одной или нескольких ударных волн. Некоторые варианты осуществления дополнительно содержат размещение устройства (например, выпускного конца 34 корпуса 18) смежно с тканью пациента так, что по меньшей мере одна ударная волна входит в ткань. В некоторых вариантах осуществления ткань является кожной тканью на лице пациента.

[0042] Некоторый вариант осуществления настоящих способов генерации терапевтических ударных волн содержит приведение в действие генератора акустических волн (например, 14), чтобы испускать акустические волны, обладающие по меньшей мере одной частотой между 1 МГц и 1000 МГц, так, что по меньшей мере некоторая часть акустических волн проходит через среду ударных волн (например, 22), которая расположена в корпусе ударных волн (например, 18), чтобы формировать одну или несколько ударных волн.

[0043] Различные иллюстративные варианты осуществления устройств, систем и способов, описанные в настоящем документе, не предназначены для ограничения конкретными раскрытыми формами. Предпочтительно они включают все модификации и альтернативы, попадающие в объем формулы изобретения. Например, настоящие увлажняющие системы могут включать любое число резервуаров в любой из форм, которые описаны и/или изображены.

[0044] Не предусмотрено, что формула изобретения включает, и не следует интерпретировать, что она включает ограничения средство-плюс- или этап-плюс-функция, пока такое ограничение в явной форме не изложено в данном пункте формулы изобретения с использованием фразы(з) «средство для» или «этап для», соответственно.

ССЫЛКИ

Следующая ссылка в той степени, которая приведенные в качестве примера процедурные или другие подробности, дополняющие те, что изложены в настоящем документе, включена в настоящий документ в качестве ссылки.

[1] Burov, V. A., Nonlinear ultrasound: breakdown of microscopic biological structures and nonthermal impact on malignant tumor. Doklady Biochemistry and Biophysics, том 383, стр.101-104 (2002).

Формула изобретения

1. Устройство для генерации терапевтических ударных волн, содержащее:
генератор акустических волн, выполненный с возможностью испускать акустические волны, обладающие по меньшей мере одной частотой между 1 МГц и 1000 МГц;
корпус, соединенный с генератором акустических волн; и

среду, расположенную в корпусе, указанная среда выполнена с возможностью проявлять нелинейные свойства в присутствии по меньшей мере одной распространяющейся акустической волны;

при этом устройство выполнено с возможностью распространения по меньшей мере части испускаемых акустических волн через указанную среду, чтобы формировать одну или несколько ударных волн.

2. Устройство по п.1, в котором среда едина с корпусом.

3. Устройство по п.1, в котором среда содержит по меньшей мере одно из: полимера, гидрогеля, силикона, металла или любую их комбинацию.

4. Устройство по п.1, в котором корпус определяет камеру, которая имеет впускной конец, соединенный с генератором акустических волн, и выпускной конец, отстоящий от генератора акустических волн, и корпус содержит торцевую крышку, закрывающую выпускной конец камеры.

5. Устройство по п.4, в котором торцевая крышка выполнена так, что ослабление ударной волны, выходящей из торцевой крышки, будет составлять менее чем двадцать процентов.

6. Устройство по п.4, в котором корпус выполнен так, что если акустические волны падают на корпус из внутренней части камеры, то корпус ударных волн будет отражать по меньшей мере некоторую часть падающих акустических волн назад в камеру.

7. Устройство по п.4, в котором расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры определено согласно по меньшей мере первому уравнению:

$$L = \frac{c_0^3 \rho_0}{\epsilon \omega P_0} = \frac{\lambda}{2\pi M_\omega}$$

где ϵ - нелинейный параметр указанной среды; ω - частота акустической волны; ρ_0 - плотность среды; λ - длина акустической волны; c_0 - скорость звука в среде; P_0 - амплитуда давления в среде; и M_ω - акустическое число Маха = $P_0 / (c_0^2 \rho_0)$.

8. Устройство по п.1, в котором генератор акустических волн содержит ультразвуковую головку.

9. Устройство по п.1, которое дополнительно содержит:

контроллер, соединенный с генератором акустических волн и выполненный с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны.

10. Устройство по п.9, в котором контроллер выполнен с возможностью корректировать генератор акустических волн, чтобы варьировать по меньшей мере одно из амплитуды и частоты акустических волн, испускаемых генератором акустических волн.

11. Устройство по п.9, в котором контроллер выполнен с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы непрерывно испускать акустические волны в течение определенного периода времени.

12. Устройство по п.9, в котором контроллер выполнен с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны в прерывистой последовательности включения-выключения.

13. Устройство по п.9, в котором контроллер выполнен с возможностью приводить в действие генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны в периодической последовательности включения-выключения.

14. Устройство по п.9, в котором генератор акустических волн представляет собой

первый генератор акустических волн, и устройство дополнительно содержит:

второй генератор акустических волн, выполненный с возможностью испускать акустические волны, обладающие по меньшей мере одной частотой между 1 МГц и 1000 МГц;

5 корпус также соединен со вторым генератором акустических волн;

устройство выполнено так, что если второй генератор акустических волн испускает акустические волны, то по меньшей мере некоторая часть акустических волн будет проходить через среду и формировать одну или несколько ударных волн; и

10 контроллер также соединен со вторым генератором акустических волн и выполнен с возможностью приводить в действие второй генератор акустических волн, чтобы испускать акустические волны.

15 15. Устройство по п.1, при этом устройство выполнено с возможностью генерировать ударные волны, обладающие интенсивностью 50-1000 Ватт на квадратный сантиметр ($\text{Вт}/\text{см}^2$).

16. Устройство по п.1, при этом устройство выполнено с возможностью генерировать 100 или более ударных волн в минуту.

17. Устройство по п.1, при этом устройство выполнено с возможностью помещаться внутри коробки, имеющей длину 3 фута, ширину 2 фута и высоту 2 фута.

20 18. Устройство по п.7, в котором расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры составляет более чем или равно значению L из первого уравнения.

19. Устройство по п.7, в котором расстояние от генератора акустических волн до выпускного конца камеры короче, чем длина ослабления среды.

25 20. Устройство по п.1, в котором по меньшей мере часть одной или нескольких ударных волн сформированы в среде.

21. Способ генерации терапевтических ударных волн, включающий:

предоставление множества акустических волн, имеющих по меньшей мере одну частоту по меньшей мере 1 МГц;

30 распространение по меньшей мере части акустических волн через среду, расположенную в корпусе, выполненную с возможностью проявлять нелинейные свойства в присутствии распространяемых акустических волн; и

генерацию одной или нескольких ударных волн от указанного распространения по меньшей мере части акустических ударных волн через указанную среду.

35 22. Способ по п.21, который дополнительно включает этап варьирования частоты акустических волн.

23. Способ по п.21, который дополнительно включает этап варьирования амплитуды акустических волн.

24. Способ по п.21, в котором одну или несколько ударных волн генерируют в указанной среде.

40 25. Способ по п.21, который дополнительно включает этап приведения в действие первого генератора акустических волн для предоставления множества акустических волн.