



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 112019022365-7 A2



(22) Data do Depósito: 26/04/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 19/05/2020

(54) **Título:** DISPOSITIVO DE PROPULSÃO E MÉTODO PARA AVANÇAR UM INSTRUMENTO AO LONGO DE UMA PASSAGEM, UNIDADE DE TUBO DE PROPULSÃO E CONSOLE DE ACIONAMENTO

(51) **Int. Cl.:** A61M 25/01; A61M 25/085; A61B 1/00; F16L 55/38; F16L 55/36.

(30) **Prioridade Unionista:** 16/02/2018 AU 2018900500; 27/04/2017 AU 2017901531.

(71) **Depositante(es):** ENDOGENE LIMITED.

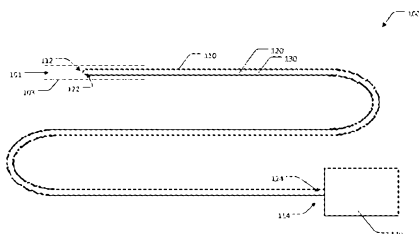
(72) **Inventor(es):** ANTHONY SWITZER; MIKHAIL SOUTORINE.

(86) **Pedido PCT:** PCT AU2018050380 de 26/04/2018

(87) **Publicação PCT:** WO 2018/195598 de 01/11/2018

(85) **Data da Fase Nacional:** 24/10/2019

(57) **Resumo:** As modalidades se referem geralmente a unidades de tubo de propulsão e dispositivos de propulsão para avançar instrumentos ao longo de passagens, e métodos de uso associados. Por exemplo, os instrumentos podem incluir ferramentas, sensores, sondas e/ou equipamento de monitoramento para uso médico (como endoscopia) ou uso industrial (como mineração). Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão pode compreender um tubo alongado definindo um canal configurado para acomodar um líquido e um atuador de pressão em comunicação com o canal. O atuador de pressão pode ser configurado para seletivamente ajustar uma pressão do líquido no canal para alternativamente: reduzir a pressão para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido; e aumentar a pressão para colapsar algumas ou todas as bolhas de gás de volta para dentro do líquido, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido em direção à primeira extremidade do tubo e transferindo momento para o tubo para avançar o tubo ao longo da passagem.



MÉTODO E APARELHO PARA PROPULSÃO DE INSTRUMENTO

Campo Técnico

[001] As modalidades geralmente se referem a unidades de tubo de propulsão e dispositivos de propulsão para avançar instrumentos ao longo de passagens, e métodos associados de uso. Por exemplo, os instrumentos podem incluir ferramentas, sensores, sondas e/ou equipamento de monitoramento para uso médico (como endoscopia) ou uso industrial (como mineração). As modalidades descritas podem ser também adequadas para aplicações em outros campos para avançar um instrumento ao longo de uma passagem.

Técnica anterior

[002] Existem diversos métodos existentes e aparelhos para avançar instrumentos ao longo de passagens incluindo aplicações em mineração e em medicina, como endoscopia. Existem diversas dificuldades com o avanço de equipamento endoscópico convencional ao longo de um trato ou lúmen em um paciente, e essas dificuldades podem levar riscos associados de causar dano ao paciente.

[003] É desejado visar ou melhorar uma ou mais desvantagens ou empecilhos associados a dispositivos de propulsão existentes para avançar instrumentos ao longo de passagens ou pelo menos fornecer uma alternativa útil.

[004] Qualquer discussão de documentos, atos, materiais, dispositivos artigos ou similar que foi incluída no presente relatório descritivo não deve ser tomada como uma admissão de que todos ou quaisquer desses assuntos fazem parte da base da técnica anterior ou eram de conhecimento geral comum no campo relevante para a presente invenção visto que existia antes da data de prioridade de cada reivindicação do presente pedido.

[005] Em todo esse relatório descritivo a palavra “compreender”, ou

variações como “compreende” ou “compreendendo” serão entendidos como sugerindo a inclusão de um elemento de estado, inteiro ou etapa mencionada, ou grupo de elementos, inteiros ou etapas, porém não a exclusão de qualquer outro elemento, inteiro ou etapa ou grupo de elementos, inteiros ou etapas.

Sumário

[006] Algumas modalidades se referem a um dispositivo de propulsão para avançar um instrumento ao longo de uma passagem, o dispositivo de propulsão compreendendo:

um tubo alongado compreendendo uma primeira extremidade e uma segunda extremidade oposta à primeira extremidade, o tubo definindo um canal configurado para acomodar um líquido, uma primeira extremidade do canal sendo fechada em ou perto da primeira extremidade do tubo e uma segunda extremidade do canal sendo definida pela segunda extremidade do tubo; e

um atuador de pressão em comunicação com a segunda extremidade do canal e configurado para seletivamente ajustar uma pressão do líquido no canal para alternadamente:

reduzir a pressão para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido, e

aumentar a pressão para colapsar algumas ou todas as bolhas de gás de volta para dentro do líquido, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido em direção à primeira extremidade do tubo e transferindo momento para o tubo para avançar o tubo ao longo da passagem.

[007] Algumas modalidades se referem a uma unidade de tubo de propulsão compreendendo:

um tubo alongado compreendendo uma primeira extremidade e uma segunda extremidade oposta à primeira extremidade, o tubo definindo um canal configurado para acomodar um líquido, uma primeira extremidade do canal

sendo fechada em ou perto da primeira extremidade do tubo e uma segunda extremidade do canal sendo definida pela segunda extremidade do tubo; e

um conjunto de pistão conectado à segunda extremidade do tubo, o conjunto de pistão compreendendo:

um corpo definindo um furo em comunicação de fluido com o canal do tubo e

um pistão móvel disposto dentro do furo e configurado para vedar contra uma superfície interna do furo,

em que o conjunto de pistão e o tubo cooperam para definir um vaso vedado contendo uma massa selecionada de líquido e uma massa selecionada de gás.

[008] O conjunto de pistão pode ser configurado para cooperação com um acionador para efetuar movimento do pistão para seletivamente ajustar uma pressão do líquido no canal para alternadamente: reduzir a pressão para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido; e aumentar a pressão para colapsar algumas ou todas as bolhas de gás de volta para dentro do líquido, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido em direção à primeira extremidade do tubo e transferindo momento para o tubo para avançar o tubo ao longo da passagem.

[009] Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão ou unidade de tubo de propulsão pode compreender um ou mais mecanismos configurados para promover cavitação em uma ou mais regiões do canal quando a pressão é reduzida, em que uma ou mais regiões se estendem ao longo de pelo menos parte de um comprimento do canal. Um ou mais mecanismos podem ser configurados para promover cavitação em uma pluralidade de regiões espaçadas ao longo de pelo menos parte do comprimento do canal. Um ou mais mecanismos podem compreender uma variação de superfície em uma superfície

interna do canal.

[0010] A variação de superfície pode compreender um revestimento. O revestimento pode compreender um material hidrofóbico. O revestimento pode compreender um material catalítico. O revestimento pode compreender um ou mais revestimentos selecionados de: octadecil triclorosilano, compostos de silano, Parylene C, fluoropolímeros, PTFE (Teflon™), poliestireno de óxido de manganês (MnO₂/PS), poliestireno de óxido de zinco nano-compósito (ZnO/PS), carbonato de cálcio precipitado nano-compósito, oligômeros de acrilato fluorados, uretano, acrílico, polivinilpirrolidona (PVP), óxido de polietileno, combinações de hidroxietilmetacrilato, e acrilamidas ou outros compostos hidrofóbicos.

[0011] A variação de superfície pode compreender uma variação topográfica. A variação topográfica pode ter uma rugosidade de superfície na faixa de aproximadamente 0.1 µm a 500 µm, aproximadamente 0.5 µm a 100 µm, ou aproximadamente 1 µm a 10 µm, por exemplo.

[0012] A variação topográfica pode compreender uma superfície arranhada ou esburacada. A variação topográfica pode definir uma pluralidade de canais no formato de V. Um ângulo característico dos canais no formato de V pode estar na faixa de aproximadamente 10° a 90°, aproximadamente 30° a 60°, ou aproximadamente 40° a 50°, por exemplo. Uma largura média dos canais no formato de V pode estar na faixa de aproximadamente 1 µm a 10 µm, ou aproximadamente 2 µm a 4 µm, por exemplo.

[0013] A variação topográfica pode definir uma pluralidade de buracos cônicos. Um ângulo característico dos buracos cônicos pode estar na faixa de aproximadamente 10° a 90°, aproximadamente 30° a 60°, ou aproximadamente 40° a 50°, por exemplo. Uma largura média dos buracos cônicos pode estar na faixa de aproximadamente 1µm a 10µm, ou aproximadamente 2µm a 4µm, por

exemplo.

[0014] A variação topográfica pode definir uma pluralidade de protrusões. Uma altura média das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μ m a 1 mm, aproximadamente 1 μ m a 500 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 100 μ m, por exemplo. Uma largura média das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μ m a 500 μ m, aproximadamente 0,5 μ m a 100 μ m, ou aproximadamente 1 μ m a 10 μ m, por exemplo. Uma distância média entre protrusões adjacentes pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μ m a 500 μ m, aproximadamente 0,5 μ m a 100 μ m, ou aproximadamente 1 μ m a 10 μ m, por exemplo.

[0015] Em algumas modalidades, as protrusões podem compreender nano-fios ou nano-tubos ocos que podem ser formados de materiais como carbono ou silício, por exemplo.

[0016] Para nano-fio, a largura das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 500nm, aproximadamente 20nm a 300nm, ou aproximadamente 100nm a 200nm; o comprimento ou altura das protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μ m a 100 μ m, aproximadamente 1 μ m a 50 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 20 μ m; e o espaçamento médio entre protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 10 μ m, aproximadamente 10nm a 100nm, ou aproximadamente 100nm a 1 μ m, por exemplo.

[0017] Para nano-tubos, a largura das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 100nm, aproximadamente 10nm a 50nm, ou aproximadamente 20nm a 40nm; o comprimento ou altura das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 1 μ m a 50 μ m, aproximadamente 5 μ m a 30 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 20 μ m; o tamanho de poro (ou diâmetro interno) das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 1 μ m a 40 μ m,

aproximadamente 5 μ m a 30 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 20 μ m; e o espaçamento médio entre protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 10 μ m, aproximadamente 10nm a 100nm, ou aproximadamente 100nm a 1 μ m, por exemplo.

[0018] A variação topográfica pode definir uma superfície porosa. A superfície porosa pode compreender uma espuma, material sinterizado ou outro material poroso, por exemplo. Um tamanho médio de poro da superfície porosa pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 200 μ m, aproximadamente 20nm a 250nm, aproximadamente 50nm a 150nm, aproximadamente 10 μ m a aproximadamente 200 μ m, ou aproximadamente 50 μ m a aproximadamente 100 μ m, por exemplo. A superfície porosa pode compreender uma camada de material poroso. A espessura da camada porosa pode estar na faixa de aproximadamente 10 μ m a 1 mm, ou aproximadamente 50 μ m a 100 μ m, por exemplo.

[0019] Um ou mais mecanismos podem compreender uma variação em uma condutividade térmica de uma parede do tubo ao longo do comprimento do canal. A condutividade térmica da parede pode variar ao longo do comprimento do canal sobre uma faixa de aproximadamente 0,25 Wm⁻¹K⁻¹ a 240Wm⁻¹K⁻¹.

[0020] O um ou mais mecanismos pode compreender um ou mais transdutores acústicos. Um ou mais dos transdutores acústicos pode estar disposto em uma parede do tubo. Um ou mais dos transdutores acústicos pode estar disposto fora de uma parede do tubo. Uma frequência operacional dos transdutores acústicos pode estar na faixa de aproximadamente 1kHz a 100kHz. Uma potência associada à energia de insonação dirigida a um lúmen do canal pelos transdutores acústicos pode estar na faixa de aproximadamente 10mW a 100mW.

[0021] Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão pode ser configurado para avançar um instrumento médico ao longo de um lúmen em um paciente.

[0022] Em algumas modalidades, o canal pode ser um canal delimitado contínuo que se estende a partir da primeira extremidade do tubo até a segunda extremidade do tubo. O tubo pode ser reforçado contra expansão ou contração devido a alterações de pressão interna. O tubo pode ser formado de um material adequado para esterilização.

[0023] Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão pode compreender uma pluralidade de tubos de acordo com qualquer uma das modalidades descritas que se estendem lado a lado.

[0024] Em algumas modalidades, o atuador de pressão pode compreender uma membrana flexível que define uma câmara vedada e um mecanismo de acionamento configurado para deformar a membrana flexível para ajustar seletivamente a pressão do líquido no canal.

[0025] Em algumas modalidades, o atuador de pressão pode compreender um conjunto de pistão incluindo um pistão móvel disposto dentro de um furo do conjunto de pistão; e um mecanismo de acionamento configurado para acionar o pistão do conjunto de pistão para seletivamente ajustar a pressão do líquido no canal. O conjunto de pistão pode ser conectado ao tubo para formar uma unidade de tubo vedado contendo o líquido, e o conjunto de pistão pode ser acoplável de modo removível ao mecanismo de acionamento.

[0026] Algumas modalidades se referem a uma unidade de tubo de propulsão compreendendo um ou mais dos tubos de acordo com qualquer uma das modalidades descritas; e

um conjunto de pistão conectado à segunda extremidade do tubo, o conjunto de pistão compreendendo:

um corpo definindo um furo em comunicação de fluido com o canal de cada de um ou mais tubos, e

um pistão móvel disposto dentro do furo e configurado para vedar contra uma superfície interna do furo.

[0027] Algumas modalidades se referem a uma unidade de tubo de propulsão compreendendo: um dos tubos de acordo com qualquer uma das modalidades descritas, e

um pistão móvel disposto dentro do canal em ou perto da segunda extremidade do tubo e configurado para vedar contra uma superfície interna do canal.

[0028] Em algumas modalidades, o conjunto de pistão e um ou mais tubos podem cooperar para definir um vaso vedado contendo uma massa selecionada de líquido e uma massa selecionada de gás. As massas selecionadas de líquido e gás podem ser escolhidas para um comprimento e diâmetro particulares do tubo. O líquido e gás podem ser retidos em uma pressão predeterminada não significativamente mais alta que uma pressão de canal típica durante operação.

[0029] Algumas modalidades se referem a um console de acionamento compreendendo:

um alojamento definindo um soquete configurado para receber e engatar uma unidade de tubo de propulsão de acordo com qualquer uma das modalidades descritas;

um acionador configurado para engatar o pistão; e

um controlador configurado para operar o acionador para mover o pistão para seletivamente ajustar uma pressão no canal do tubo.

[0030] Algumas modalidades se referem a um método de avançar um instrumento ao longo de uma passagem, o método compreendendo seletivamente ajustar uma pressão de um líquido em um tubo conectado ao

instrumento para sucessivamente induzir cavitação de bolhas de gás no líquido e subsequentemente colapsar as bolhas de gás de volta para dentro do líquido para acelerar o líquido dentro do tubo, transferir momento do líquido para o tubo, e avançar o tubo ao longo da passagem.

Breve descrição dos desenhos

[0031] Modalidades exemplificadoras serão descritas agora em detalhe com relação aos desenhos, nos quais:

a figura 1 é um diagrama esquemático de um dispositivo de propulsão de acordo com algumas modalidades;

as figuras 2A a 2F são uma série de seções longitudinais de uma porção de tubo de um dispositivo de propulsão mostrando um ciclo de nucleação e cavitação de bolhas de gás em um líquido contido no tubo, e colapso subsequente das bolhas de gás de volta para dentro do líquido, de acordo com algumas modalidades;

as figuras 3A a 3G são uma série de seções longitudinais de uma porção de tubo de um dispositivo de propulsão mostrando um ciclo de nucleação e cavitação de bolhas de gás dentro de um líquido contido no tubo, e subsequente colapso das bolhas de gás de volta para dentro do líquido, de acordo com algumas modalidades;

a figura 4 é uma seção longitudinal de uma porção de tubo de um dispositivo de propulsão ilustrando mecanismos para promover nucleação e/ou coalescência de bolha em certas regiões dentro do tubo, de acordo com algumas modalidades;

a figura 5 é uma seção longitudinal de uma porção de tubo de um dispositivo de propulsão ilustrando mecanismos para promover nucleação e/ou coalescência de bolha em certas regiões dentro do tubo, de acordo com algumas modalidades;

a figura 6 é uma seção longitudinal de uma porção de tubo de um dispositivo de propulsão ilustrando mecanismos para promover nucleação e/ou coalescência de bolhas em certas regiões dentro do tubo, de acordo com algumas modalidades;

a figura 7 é uma ilustração de uma variação de superfície topográfica para promover nucleação de bolha, de acordo com algumas modalidades;

as figuras 8A a 8E mostram uma série de ilustrações de tipos diferentes de protruções para promover nucleação de bolha, de acordo com algumas modalidades;

a figura 9 é uma ilustração de uma superfície porosa para promover nucleação de bolha, de acordo com algumas modalidades;

as figuras 10A a 10C mostram uma série de ilustrações de tipos diferentes de variações de superfície topográfica em escala grande para aumentar a transferência de momento entre o líquido e o tubo, de acordo com algumas modalidades;

a figura 11 mostra perfis de velocidade e deslocamento, exemplificadores, ilustrando o movimento de um pistão de um atuador de pressão, de acordo com algumas modalidades;

a figura 12 mostra um ciclo de pressão exemplificador ilustrando a pressão aplicada ao líquido no tubo, de acordo com algumas modalidades;

as figuras 13A e 13B mostram seções transversais de dois dispositivos com uma pluralidade de tubos ilustrando disposições diferentes dos tubos, de acordo com algumas modalidades;

a figura 14 mostra um diagrama esquemático de parte do dispositivo de propulsão com um conjunto de pistão e tubo removível, de acordo com algumas modalidades;

a figura 15 mostra um painel frontal de um console de acionamento do

dispositivo de propulsão da figura 14;

a figura 16 mostra um sistema endoscópico incluindo o dispositivo de propulsão da figura 14, de acordo com algumas modalidades; e

a figura 17 mostra um dispositivo de propulsão com uma unidade de tubo alternativa de acordo com algumas modalidades.

Descrição de modalidades

[0032] As modalidades se referem em geral a dispositivos de propulsão para avançar instrumentos ao longo de passagens, e métodos associados de uso. Por exemplo, os instrumentos podem incluir ferramentas, sensores, sondas e/ou equipamento de monitoramento para uso médico (como endoscopia) ou uso industrial (como mineração). As modalidades descritas podem ser também adequadas para aplicações em outros campos para avançar um instrumento ao longo de uma passagem.

[0033] Com referência a figura 1, um dispositivo de propulsão 100 é mostrado de acordo com algumas modalidades. O dispositivo de propulsão 100 compreende um tubo alongado 110 definindo um lúmen ou canal 120 configurado para acomodar um líquido 130 e um atuador de pressão 140 configurado para seletivamente ajustar uma pressão do líquido 130 no canal 120, como por variar a pressão, opcionalmente variando a pressão continuamente.

[0034] Uma extremidade primeira ou distal 122 do canal 120 é fechada em ou perto de uma extremidade primeira ou distal 112 do tubo 110. A extremidade distal 112 do tubo 110 é mostrada disposta em um canal ou lúmen 101 de uma passagem 103 na figura 1.

[0035] Em algumas modalidades, o tubo 110 pode ser configurado para ser inserido em e através de um trato biológico, como um lúmen 101 de uma passagem 103 de um paciente. Os exemplos de tais tratos biológicos incluem o

esôfago, estômago, intestino, cólon, intestino delgado, intestino grosso, duodeno ou qualquer uma ou mais passagens do sistema gastrointestinal. Em algumas modalidades, o tubo 110 pode ser configurado para inserção em e através de outra passagem 103 em um paciente, como vasos sanguíneos, veias ou artérias, por exemplo. Em algumas modalidades, o tubo 110 pode ser configurado para aplicações médicas humanas ou aplicações veterinárias. Em algumas modalidades, o tubo 110 pode ser configurado para aplicações industriais, como para uso em tubos de encanamento, cavidades de parede, rotas de cabos, maquinaria, mineração ou poços, por exemplo.

[0036] Em algumas modalidades, o tubo 110 pode ser configurado para ser acomodado dentro de um tubo de inserção de um endoscópio, e o tubo de inserção configurado para ser inserido em uma passagem 103, como uma passagem em um paciente. Um exemplo de tal disposição é ilustrado na figura 16. O tubo 110 do dispositivo de propulsão 100 pode ser acomodado dentro de um canal de tubo de propulsão (não mostrado) dentro do tubo de inserção. Em algumas modalidades, o canal de tubo de propulsão pode ser concêntrico ou coaxial com o diâmetro externo do tubo de inserção, e pode se estender ao longo de um eixo longitudinal central do tubo de inserção. Em algumas modalidades, o canal de tubo de propulsão pode ser radialmente deslocado a partir do eixo central do tubo de inserção.

[0037] O atuador de pressão 140 está em comunicação com uma extremidade segunda ou proximal 124 do canal 120 em ou perto de uma extremidade segunda ou proximal 114 do tubo 110 oposta à extremidade distal 112. O canal 120 pode compreender um canal delimitado contínuo que se estende a partir da primeira extremidade 112 do tubo 110 até a segunda extremidade 114 do tubo 110.

[0038] O atuador de pressão 140 pode compreender qualquer dispositivo

adequado configurado para seletivamente ajustar uma pressão do líquido 130 no canal 120, como um pistão de reciprocitar, por exemplo. Em algumas modalidades, o atuador de pressão 140 pode compreender um pistão acionado por um motor, como um motor linear, controlado por um controlador (não mostrado).

[0039] O atuador de pressão 140 pode ser configurado para reduzir gradualmente a pressão dentro do canal 120 para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido 130, e então subitamente aumentar a pressão para comprimir e colapsar as bolhas de gás de volta no líquido 130, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido 130 em direção à primeira extremidade 112 do tubo 110, de modo que momento seja transferido a partir do líquido para o tubo 110 para avançar o tubo 110 ao longo de uma passagem.

[0040] Em algumas modalidades, quando o canal 120 está em uma pressão base ou inicial, pode haver volumes de gás e líquido 130 dentro do canal 120 e o atuador de pressão 140 pode ser controlado para aumentar a pressão para comprimir e dissolver parte ou todo o gás para dentro do líquido 130. Em algumas modalidades, o canal 120 pode ser totalmente preenchido com o líquido 130 e o atuador de pressão 140 pode reduzir a pressão para induzir cavitação de gás para fora do líquido 130. Em várias modalidades, a pressão base pode ser ajustada: em ou perto de pressão atmosférica; significativamente mais alta que a pressão atmosférica; ou significativamente mais baixa que a pressão atmosférica.

[0041] O atuador de pressão 140 pode ser configurado para ajustar a pressão em um ciclo de repetição para induzir cavitação de bolhas de gás para fora do líquido 130 e subsequentemente comprimir parte ou todo o gás de volta para dentro do líquido 130. Em várias aplicações, a diferença entre a pressão máxima no canal 120 e a pressão mínima no canal 120 pode estar na faixa de

aproximadamente 10kPa a 100MPa, aproximadamente 10kPa a 100kPa, aproximadamente 100kPa a 1MPa, aproximadamente 1MPa a aproximadamente 10MPa, ou aproximadamente 10MPa a aproximadamente 100MPa, por exemplo. Em algumas modalidades, a pressão máxima pode estar acima, abaixo ou próxima à pressão atmosférica. Em algumas modalidades, a pressão mínima pode estar acima, abaixo ou próxima à pressão atmosférica, porém tendo uma diferença não zero a partir da pressão máxima.

[0042] Por exemplo, para aplicações gastrointestinais, a pressão de canal pode variar de 100kPa abaixo da pressão atmosférica até 1000kPa acima da pressão atmosférica; para aplicações cardiovasculares, a pressão de canal pode variar de 20kPa abaixo da pressão atmosférica até 300kPa acima da pressão atmosférica; para aplicações industriais a pressão de canal pode variar de 1000kPa abaixo da pressão atmosférica até 10000kPa acima da pressão atmosférica.

[0043] O líquido 130 no canal 120 pode compreender qualquer um ou mais de: um líquido puro, uma solução, uma solução de gás/líquido (isto é, um gás dissolvido em líquido), uma mistura de gás e líquido, uma mistura de partículas sólidas e líquidas, como uma suspensão e uma mistura de dois ou mais líquidos miscíveis ou imiscíveis, por exemplo. Em algumas modalidades, a razão volumétrica de gás para líquido em pressão atmosférica pode estar na faixa de aproximadamente 0,1% a 10%, aproximadamente 0,5% a 5%, ou aproximadamente 1% a 2%, por exemplo.

[0044] O líquido 130 pode compreender quaisquer líquidos, gases, partículas sólidas ou soluções, adequadas, como: água, etanol, dióxido de carbono, nitrogênio, ar, óxido nítrico, argônio, sais, cloreto de sódio, formato de potássio, ácidos, ácido acético, ou metatungstato de lítio, por exemplo.

[0045] Líquidos diferentes podem ser adequados para aplicações

diferentes. Por exemplo, em aplicações médicas, líquidos preferidos podem ser biocompatíveis, não tóxicos (ou ter toxicidade muito baixa), não pirogênicos, não inflamatórios, não altamente osmóticos, relativamente inertes, e serem adequados para operação em pressões relativamente baixas e em temperaturas similares à temperatura típica de um paciente. Por exemplo, água, etanol, dióxido de carbono, nitrogênio, ar, óxido nítrico, argônio.

[0046] Em aplicações industriais onde biocompatibilidade não é necessária, líquidos com densidades mais altas podem ser preferidos, como soluções aquosas de compostos inorgânicos inertes, por exemplo. Um líquido de densidade alta adequado pode ser uma solução aquosa de metatungstato de lítio que tem alta densidade, baixa viscosidade e boa estabilidade térmica.

[0047] Em várias modalidades, o tubo 110 pode ser formado de materiais diferentes, dependendo de sua adequação para uma dada aplicação. Por exemplo, para aplicações médicas, o tubo 110 pode ser formado de um material não tóxico que é suficientemente flexível para dobrar em torno de cantos ou voltas em uma passagem dentro do corpo de um paciente.

[0048] Alguns exemplos de materiais que podem ser usados para formar o tubo 110 em aplicações diferentes incluem: polímeros, plásticos, polietileno, polietileno de alta densidade, politetrafluoroetileno, vinil, náilon, borracha, elastômeros, resinas ou materiais compósitos compreendendo têxteis impregnados com polímeros, elastômeros ou resinas. Polímeros contendo espaços vazios (espumas) na estrutura interna podem ser também usados para aumentar a flexibilidade como politetrafluoroetileno extrudado (ePTFE). Formação de camada compósita desses materiais também pode ser usada para aumentar a resistência, manter flexibilidade e resistir à pressão interna ou enroscamento.

[0049] Uma parede 118 do tubo 110 deve ter uma resistência e espessura

suficientes para resistir à faixa esperada de diferenciais de pressão para uma dada aplicação. Em algumas modalidades, o tubo 110 ou parede de tubo 118 pode ser reforçada para diminuir contra expansão e/ou contração do tubo devido a alterações de pressão. Qualquer material de reforço adequado pode ser usado, como fibras de alta resistência ou polietileno com peso molecular ultraelevado, por exemplo.

[0050] Com referência às figuras 2A a 2F, um segmento do tubo 110 do dispositivo de propulsão 100 é mostrado de acordo com algumas modalidades, ilustrando o processo de cavitação em uma série de diagramas.

[0051] Com referência à figura 2A, em uma pressão base ou inicial, o canal 120 pode ser substancialmente ou totalmente preenchido com líquido 130 com pouco ou nenhum gás dentro do canal 120. (Embora em algumas modalidades, possa haver um volume significativo de gás presente no canal na pressão base).

[0052] Quando a pressão no canal 120 é gradualmente reduzida pelo atuador de pressão 140, bolhas de gás 133 podem começar a se formar no líquido 130 dentro do canal 120, como mostrado na figura 2B. as bolhas de gás 133 podem compreender gás que foi previamente dissolvido no líquido 130 e/ou vapor (isto é, uma fase de gás do líquido 130). As bolhas 133 podem formar através de nucleação homogênea ou através de nucleação heterogênea no líquido 130 em locais de nucleação, como partículas suspensas no líquido 130 e/ou em locais de nucleação em uma superfície interna 126 do tubo 110.

[0053] Quando a pressão é adicionalmente reduzida, as bolhas 133 podem aumentar em volume para formar bolhas maiores 133c, como mostrado na figura 2C, e bolhas novas 133 podem continuar a serem formadas através de nucleação. Algumas das bolhas 133, 133c podem coalescer para formar bolhas ainda maiores 133d, como mostrado na figura 2D.

[0054] Em certas condições, as bolhas 133 podem coalescer para formar

uma bolha grande 133e que abrange um lúmen do canal 120, como mostrado na figura 2E. isto é, a bolha abrangente 133e pode ocupar o lúmen inteiro do canal 120 em uma região do canal 120 de modo que porções diferentes do líquido 130 sejam separadas em qualquer lado da bolha 133e. pode ser desejável encorajar ou promover a formação de tais bolhas abrangentes 133e no canal 120, visto que isso pode aumentar ou intensificar o efeito propulsivo por aumentar a aceleração do líquido 130 durante o súbito aumento de pressão, e desse modo aumentar a energia cinética transmitida ao líquido 130 e o momento transferido para o tubo 110.

[0055] Quando a pressão é aumentada (isto é, durante compressão) o líquido 130 é acelerado em uma direção distal (isto é, no sentido da extremidade primeira ou distal 122 do canal 120), como indicado por setas 201 na figura 2F. devido à compressibilidade relativamente alta das bolhas de gás 133, que são ordens de magnitude mais altas que a compressibilidade relativamente baixa do líquido 130, o líquido 130 é permitido para acelerar rapidamente e comprimir as bolhas 133, como mostrado na figura 2F.

[0056] Quando as bolhas 133 são comprimidas, experimentam um aumento súbito em pressão e densidade, e colapsam (isto é, dissolvem e/ou condensam) de volta para dentro do líquido 130, como mostrado na figura 2A. A taxa de dissolução/colapso das bolhas 133 para dentro do líquido 130 pode ser aumentada por aumentar a área superficial total das interfaces de gás-líquido. Portanto, pode ser desejável encorajar ou promover a formação de muitas bolhas 133, e preferivelmente muitas bolhas abrangentes 133e.

[0057] Há diversos modos nos quais a probabilidade da formação de bolhas abrangentes 133e pode ser aumentada, vários dos quais são discutidos abaixo. Por exemplo, em algumas modalidades, um ou mais aditivos podem ser incluídos no líquido 130 para aprimorar a coalescência de bolha. Em algumas

modalidades, o diâmetro interno do canal 120 pode ser selecionado para ser relativamente pequeno de modo que somente volumes de bolha relativamente pequena são necessários para abranger o lúmen. Entretanto, o diâmetro interno do lúmen ainda deve ser grande o bastante para permitir que o líquido 130 flua ao longo do canal 120 quando a pressão é subitamente aumentada (isto é, não ser demasiadamente limitado por resistência capilar). Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão 100 pode compreender uma pluralidade de tubos 110 estendendo lado a lado entre si, e cada definindo um canal 120. Isso pode permitir que o diâmetro interno de cada canal 120 seja relativamente pequeno enquanto mantém uma massa total de líquido 130 relativamente alta, dentro dos tubos 110.

[0058] Em algumas modalidades, cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha pode ser aprimorada, encorajada ou promovida em certas regiões do canal 120.

[0059] Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão 100 pode compreender um ou mais mecanismos configurados para promover cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha em uma ou mais regiões do canal quando a pressão é reduzida. Uma ou mais regiões podem se estender ao longo de pelo menos parte de um comprimento do canal 120. Por exemplo, um ou mais mecanismos podem ser configurados para promover cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha em uma pluralidade de regiões espaçadas ao longo do comprimento do canal 120.

[0060] Em algumas modalidades, cada região onde cavitação é promovida pode se estender ao longo de parte do comprimento do canal por uma distância entre aproximadamente 10% e 400% de um diâmetro interno do canal 120, opcionalmente aproximadamente 30% e 300%, opcionalmente aproximadamente 50% e 200%. Em algumas modalidades, uma distância entre

regiões adjacentes onde cavitação é promovida pode ser maior que o diâmetro interno do canal 120 por um fator de aproximadamente 2 a 50, aproximadamente 5 a 30, ou aproximadamente 10 a 20, por exemplo.

[0061] Com referência às figuras 3A a 3G, um segmento do tubo 110 do dispositivo de propulsão 100 é mostrado de acordo com algumas modalidades, ilustrando o processo de cavitação em uma série de diagramas. O processo de cavitação é similar àquele descrito em relação às figuras 2A a 2F; entretanto, o tubo 110 mostrado nas figuras 3A a 3G também inclui um ou mais mecanismos 330 configurados para promover cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha em uma ou mais regiões do canal 120 quando a pressão é reduzida.

[0062] Com referência à figura 3A, na pressão base, o canal 120 pode ser substancial ou totalmente preenchido com o líquido 130, com pouco ou nenhum gás dentro do canal 120.

[0063] Quando a pressão no canal 120 é gradualmente reduzida pelo atuador de pressão 140, bolhas de gás 133 podem começar a se formar no líquido 130 dentro do canal 120, como mostrado na figura 3B. algumas bolhas 133 podem se formar aleatoriamente por todo o líquido 130; entretanto, a probabilidade de bolhas 133 se formarem será mais alta nas regiões dos mecanismos de promoção de cavitação 330.

[0064] Quando a pressão é reduzida adicionalmente, as bolhas 133 podem aumentar em volume para formar bolhas maiores 133c, como mostrado na figura 3C, e bolhas novas 133 podem continuar a ser formadas através de nucleação. Algumas das bolhas 133, 133c podem coalescer para formar bolhas ainda maiores 133d, como mostrado na figura 3D.

[0065] As bolhas 133 podem coalescer para formar bolhas abrangentes de lúmen 133e que cobrem o diâmetro inteiro de um lúmen do canal 120, como

mostrado na figura 3E. A formação de bolhas abrangentes de lúmen 133e pode ser mais provável nas regiões dos mecanismos 330 devido a um maior número ou tamanho de bolhas sendo formadas e/ou coalescência aprimorada de bolha.

[0066] Quando a pressão é aumentada, o líquido 130 é acelerado em uma direção distal (isto é, no sentido da extremidade primeira ou distal 122 do canal 120), como indicado por setas 301 na figura 3F, e as bolhas 133 são comprimidas e reduzem em volume, como mostrado na figura 3G.

[0067] Quando as bolhas 133 são comprimidas, experimentam um aumento súbito em pressão e densidade, e colapsam (isto é, dissolvem e/ou condensam) de volta para dentro do líquido 130, como mostrado na figura 3A.

[0068] Os mecanismos 330 podem compreender qualquer meio adequado para aprimorar, promover, encorajar ou aumentar a probabilidade de cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha.

[0069] Com referência à figura 4, em algumas modalidades, um ou mais mecanismos 330 podem compreender uma variação em uma condutividade térmica e/ou massa térmica de uma parede 118 do tubo ao longo do comprimento do canal 120. Essa variação em condutividade térmica e/ou massa térmica pode ser obtida por incluir porções de parede 430 em locais diferentes ao longo do comprimento do canal 120 compreendendo um material tendo uma condutividade térmica e/ou massa térmica mais alta do que o resto da parede 118. Por exemplo, em algumas modalidades, a parede 118 pode ser formada de um polímero extrudado, e partículas de metal podem ser impregnadas em certas porções da parede 118 para criar as porções de parede 430 de condutividade térmica e massa térmica relativamente mais altas.

[0070] A diferença em condutividade térmica e/ou massa térmica entre as porções de parede 430 e o resto da parede 118 pode resultar em uma probabilidade maior de cavitação e nucleação de bolha na região das porções de

parede 430 em comparação com o resto do canal 120.

[0071] Em algumas modalidades, a condutividade térmica da parede 118 pode variar ao longo do comprimento do canal em uma faixa de aproximadamente $0.25\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a $240\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Em algumas modalidades, a condutividade térmica das porções de parede 430 pode ser mais alta que o resto da parede 118 por um fator de pelo menos 10, pelo menos 100, pelo menos 500, ou pelo menos 1000. Por exemplo, em algumas modalidades, a condutividade térmica das porções de parede 430 pode estar na faixa de aproximadamente $100\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a $300\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, aproximadamente $150\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a $250\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, ou aproximadamente $200\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, enquanto a condutividade térmica do resto da parede 118 pode estar na faixa de aproximadamente $0,1\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a $10\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, ou aproximadamente $0,5\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a $1\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

[0072] Com referência à figura 5, em algumas modalidades, um ou mais mecanismos 330 pode compreender um ou mais transdutores acústicos 530. Os transdutores acústicos 530 podem ser conectados a um controlador através de um ou mais cabos 535 e configurados para emitir energia acústica com uma amplitude e frequência que promove cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha.

[0073] Os transdutores acústicos 530 podem ser acoplados à superfície externa ou interna do tubo 110, disposto fora da parede 118 do tubo 110, ou em algumas modalidades, podem ser dispostos ou incorporados na parede 118 do tubo 110. Em algumas modalidades, os transdutores acústicos 530 podem compreender transdutores de fragmento piezoelétrico.

[0074] Uma frequência operacional dos transdutores acústicos 530 pode estar na faixa de aproximadamente 1kHz a 100kHz ou aproximadamente 10 kHz a 25 kHz, por exemplo. A frequência operacional dos transdutores acústicos 530 pode ser selecionada para ser mais alta que o limiar *Blake* para a nucleação

mecânica de bolhas de gás de pelo menos 1 micrometro em sistemas com um coeficiente de saturação de gás que se aproxima de 1 (isto é, totalmente saturado). O limiar aumenta com aumento de frequência e diminuição de saturação de gás (para referência, ver Acoustic cavitation prediction, R. E. Apfel, The Journal of the Acoustical Society of America 69, 1624 (1981)).

[0075] Energia de insonação acústica pode ser dirigida a um lúmen do canal pelos transdutores acústicos 530 para promover, aprimorar ou auxiliar na indução de cavitação no líquido 130. Em algumas modalidades, as características do campo de insonação podem compreender: uma variação de pressão na faixa de aproximadamente 10MPa a 100Mpa, uma duração de pulso na faixa de aproximadamente 0,2ms 10ms, e uma potência total na faixa de aproximadamente 10mW a 100mW, por exemplo. Em algumas modalidades, os transdutores acústicos 530 podem ser operados com uma pressão de aproximadamente 100kPa, um deslocamento de aproximadamente 25µm e uma frequência de aproximadamente 21kHz.

[0076] Em algumas modalidades, os mecanismos 330 podem compreender um ou mais lasers configurados para induzir cavitação no líquido 130. Por exemplo, em algumas modalidades, os mecanismos 330 podem compreender módulos a laser de microdiodo incorporados na parede 118 do tubo 110. Os módulos a laser podem ser ativados em um pulso de 10ms a 20ms de duração para coincidir com a fase de baixa pressão do ciclo de pressão, para promover, aprimorar ou auxiliar na indução de nucleação de bolhas de gás 133.

[0077] Em algumas modalidades, os mecanismos 330 podem compreender um ou mais pares de condutores elétricos dispostos dentro do lúmen do canal 120 e dispostos com uma separação próxima na faixa de aproximadamente 0,1 mm a 0,5 mm, de modo que uma corrente elétrica possa descarregar de um condutor para o outro através do líquido 130 causando ionização do líquido 130

e subsequente nucleação de gás. Os pares condutivos podem ser dispostos em uma configuração circular e incorporados na parede do tubo de polímero não condutivo. Os pares condutivos podem ser conectados a uma fonte de energia elétrica através de fios condutivos que se estendem ao longo do comprimento do tubo 110. A fonte de energia pode compreender um circuito de descarga de baixa corrente, alta tensão e alta capacidade que pode ser regulado para descarregar no ponto mais baixo do ciclo de pressão produzido pelo atuador de pressão 140. A tensão fornecida pode estar na faixa de aproximadamente 100V a 200V. a corrente pode estar na faixa de aproximadamente 1mA a 10mA.

[0078] Com referência à figura 6, em algumas modalidades, um ou mais mecanismos 330 podem compreender uma variação de superfície 630 na superfície interna 126 do tubo 110. Isto é, uma porção de variação de superfície 630 da superfície interna 126, que é diferente do resto da superfície interna 126 e configurada para promover ou encorajar nucleação de bolha.

[0079] Em algumas modalidades, a variação de superfície 630 pode compreender um revestimento aplicado à parte da superfície interna 126 do tubo 110. Em algumas modalidades, a variação de superfície 630 pode compreender um revestimento de um material catalítico, como octadecil triclorosilano (para promover nucleação de CO₂) ou outros compostos similares, por exemplo. Em algumas modalidades, a variação de superfície 630 pode compreender um revestimento hidrofóbico, como compostos de silano (hidreto de silicone), Parylene C, ou fluoropolímeros como PTFE (Teflon™), poliestireno de óxido de manganês (MNO₂/PS), poliestireno de óxido de zinco nano-compósito (ZnO/PS), carbonato de cálcio precipitado nano-compósito ou oligômeros de acrilato fluorado, por exemplo.

[0080] Em algumas modalidades, o resto da superfície interna 126 pode ser formado de ou revestido com um material hidrofílico, como uretano, acrílico,

polivinilpirrolidona (PVP), óxido de polietileno, combinações de hidroxietilmetacrilato ou acrilamidas, por exemplo, ou outro material adequado para desencorajar nucleação de bolha no resto da superfície interna 126 (isto é, na direção oposta às variações de superfície 630).

[0081] Em algumas modalidades, a variação de superfície 630 pode compreender uma variação topográfica. Variações topográficas relativamente pequenas (por exemplo, em escalas de comprimento na ordem de 1 μm – 100 μm) podem fornecer locais de nucleação para encorajar ou promove nucleação e crescimento de bolha. Por exemplo, a variação topográfica pode compreender uma alteração em rugosidade de superfície, uma superfície micro-porosa, uma superfície arranhada ou esburacada, uma pluralidade de protrusões, fibras projetadas, nano-tubos, buracos, canais, cristas, aletas, recessos, cavidades ou outra variação geométrica. As variações topográficas podem ser formadas por moldagem, arranhadura, corte, enrolamento, gravação, abrasão ou impressão, por exemplo. Em algumas modalidades, particulados porosos como cerâmica podem ser incorporados na parede 118 do tubo 110 na superfície interna 126 para fornecer locais de nucleação.

[0082] Em algumas modalidades, a variação topográfica pode se estender através da superfície interna inteira 126 do tubo 110. Em algumas modalidades, o tubo 110 pode ser formado com a variação topográfica se estendendo através da superfície interna inteira 126, e então certas porções da superfície interna 126 podem ser alisadas (por exemplo, com um revestimento de polímero), deixando as porções expostas/não alisadas da variação topográfica para formar as variações de superfície 630. Por exemplo, a parede 118 do tubo 110 pode ser formada de um material poroso, e então certas porções da superfície interna 126 podem ser vedadas deixando as porções expostas/não vedadas da superfície interna 126 formar as variações de superfície 630.

[0083] As variações de superfície 630 podem compreender quaisquer variações topográficas adequadas para uma dada aplicação. Diversas variações topográficas adequadas são descritas abaixo.

[0084] Em algumas modalidades, a variação topográfica pode definir uma pluralidade de canais no formato de V. Os canais no formato de V podem ser alinhados em paralelo entre si, ou podem ser aleatoriamente orientados e intersectar entre si.

[0085] Um ângulo característico dos canais no formato de V (isto é, o ângulo do ápice do formato V) pode estar na faixa de aproximadamente 10° a 90°, aproximadamente 30° a 60°, ou aproximadamente 40° a 50°, por exemplo. Uma largura média dos canais no formato de V pode estar na faixa de aproximadamente 1 µm a 10 µm, ou aproximadamente 2 µm a 4 µm, por exemplo. Uma profundidade média dos canais no formato de V pode estar na faixa de aproximadamente 1 µm a 10 µm, ou aproximadamente 2 µm a 4 µm, por exemplo.

[0086] Com referência à figura 7, em algumas modalidades, uma variação de superfície 730 pode compreender um padrão parcialmente aleatório de intersectar canais no formato de V 737. Isso pode ser obtido por abrasão usando particulados de Diamante com um tamanho nominal de 2 µm. Os particulados de Diamante podem ter vértices no formato em V acentuado e podem ser sinterizados em uma haste de metal para aplicação rotativa na superfície interna 126. A haste de metal pode ser aplicada na superfície interna 126 com uma oscilação rotativa para produzir as variações de superfície 730. Uma micrografia de força Atômica de um padrão de arranhão no formato de V aleatório típico obtido usando esse método é mostrada na figura 7.

[0087] Em algumas modalidades, a variação topográfica pode definir uma pluralidade de buracos cônicos. Os buracos cônicos podem ser dispostos

aleatoriamente ou em uma disposição periódica.

[0088] Um ângulo característico dos buracos cônicos (isto é, o ângulo do ápice dos buracos cônicos) pode estar na faixa de aproximadamente 10° a 90°, aproximadamente 30° a 60°, ou aproximadamente 40° a 50°, por exemplo. Uma largura média dos buracos cônicos pode estar na faixa de aproximadamente 1 μm a 10 μm , ou aproximadamente 2 μm a 4 μm , por exemplo. Uma profundidade média dos buracos cônicos pode estar na faixa de aproximadamente 1 μm a 10 μm , ou aproximadamente 2 μm a 4 μm , por exemplo.

[0089] Em algumas modalidades, a variação topográfica pode definir uma pluralidade de protrusões. As protrusões podem definir qualquer formato adequado e, em algumas modalidades, podem definir uma pluralidade de formatos diferentes. As protrusões podem ser dispostas aleatoriamente ou em uma disposição periódica.

[0090] Uma altura média das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μm a 1mm, aproximadamente 1 μm a 500 μm , ou aproximadamente 10 μm a 100 μm , por exemplo. Uma largura média das protrusões pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μm a 500 μm , aproximadamente 0,5 μm a 100 μm , ou aproximadamente 1 μm a 10 μm , por exemplo. Uma distância média entre protrusões adjacentes pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μm a 500 μm , aproximadamente 0,5 μm a 100 μm , ou aproximadamente 1 μm a 10 μm , por exemplo.

[0091] Com referência às figuras 8A a 8E, alguns exemplos de variações de superfície 830 são mostradas de acordo com algumas modalidades. As variações de superfície 830 definem cada, uma pluralidade de protrusões 835. Em algumas modalidades, as protrusões 835 podem definir aletas ou cristas 835 separadas por canais 837.

[0092] Em algumas modalidades, as protrusões 835 podem compreender nano-fios ou nano-tubos ocos que podem ser formados de materiais como carbono ou silício, por exemplo. Para nano-fio, a largura das protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 500nm, aproximadamente 20nm a 300nm, ou aproximadamente 100nm a 200nm; o comprimento ou altura das protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 0,1 μ m a 100 μ m, aproximadamente 1 μ m a 50 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 20 μ m; e o espaçamento médio entre protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 10 μ m, aproximadamente 10nm a 100nm, ou aproximadamente 100nm a 1 μ m, por exemplo. Para nano-tubos, a largura das protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 100nm, aproximadamente 10nm a 50nm, ou aproximadamente 20nm a 40nm; o comprimento ou altura das protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 1 μ m a 50 μ m, aproximadamente 5 μ m a 30 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 20 μ m; o tamanho de poro (ou diâmetro interno) das protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 1 μ m a 40 μ m, aproximadamente 5 μ m a 30 μ m, ou aproximadamente 10 μ m a 20 μ m; e o espaçamento médio entre protrusões 835 pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 10 μ m, aproximadamente 10nm a 100nm, ou aproximadamente 100nm a 1 μ m, por exemplo.

[0093] Em algumas modalidades, a variação topográfica pode definir uma superfície porosa, como uma espuma, material sinterizado ou outro material poroso, por exemplo. Um tamanho de poro médio da superfície porosa pode estar na faixa de aproximadamente 10nm a 200 μ m, aproximadamente 20nm a 250nm, aproximadamente 50nm a 150nm, aproximadamente 10 μ m a aproximadamente 200 μ m, ou aproximadamente 50 μ m a aproximadamente 100 μ m, por exemplo. A superfície porosa pode compreender uma camada de

material poroso. A espessura da camada porosa pode estar na faixa de aproximadamente 10µm a 1mm, ou aproximadamente 50µm a 100µm, por exemplo.

[0094] Com referência à figura 9, uma variação de superfície 930 compreendendo uma camada porosa 933 é mostrada de acordo com algumas modalidades. A camada porosa 933 pode ser formada de partículas sinterizadas 935 com diâmetros que variam de aproximadamente 10µm a aproximadamente 100µm, por exemplo.

[0095] Em algumas modalidades, a variação topográfica pode ter uma rugosidade de superfície na faixa de aproximadamente 0,1µm a 500µm, aproximadamente 0,5µm a 100µm, ou aproximadamente 1µm a 10µm, por exemplo.

[0096] Em algumas modalidades, um ou mais aditivos pode ser incluído no líquido 13 – para promover cavitação, nucleação de bolha e/ou coalescência de bolha. Por exemplo, aditivos podem ser incluídos para alterar a densidade, viscosidade, nível de pH, solubilidade de gás, características de coalescência ou tensão de superfície do líquido 130.

[0097] As características de solubilidade e coalescência de cada combinação de gás fluido podem ser dependentes de fatores que podem ser controlados, como temperatura e pH. No caso de CO₂, pensa-se que o pH da solução deve ser ajustado de modo ideal para estar entre 6 e 6.5 para efeito ótimo. Se o pH estiver acima de 6.5 pode ser difícil induzir nucleação de bolha devido à alta solubilidade do gás em água. Em algumas modalidades, onde CO₂ é usado como o gás, o pH da solução pode ser diminuído a um nível entre 6 e 6.5 com a adição de ácido acético de produção para promover nucleação e coalescência de bolhas de CO₂ no líquido.

[0098] Em algumas aplicações, o trabalho mecânico do atuador de pressão

140 atuando sobre o líquido 130 pode produzir aquecimento do líquido 130, que pode diminuir a solubilidade do gás 133 no líquido 130. Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão 100 pode incluir um dissipador de calor (não mostrado) para retirar calor em excesso a partir do líquido 130. Por exemplo, o dissipador de calor pode compreender um dissipador de calor de metal disposto em ou perto da extremidade proximal 114 do tubo 110, que pode ser disposto dentro ou adjacente ao atuador de pressão 140. O dissipador de calor pode ser resfriado por convecção de ar, refrigeração ou radiação.

[0099] Em algumas modalidades, a condutividade térmica do líquido 130 pode ser suficiente para que o calor seja transferido através do líquido 130 ao longo do tubo 110 para o dissipador de calor. Em algumas modalidades, sais como Formato de potássio podem ser adicionados à água para aumentar a condutividade térmica e densidade do líquido 130 sem aumentar significativamente a viscosidade ou ponto de ebulição.

[00100] Em algumas modalidades, a massa térmica e condutividade do próprio tubo 110 pode ser suficiente para que o calor seja transferido ao longo do tubo 110 para o dissipador de calor. Em algumas modalidades, a parede de tubo 118 pode compreender um ou mais condutores de calor, como um filme ou fio metálico, para transferir calor ao longo do tubo 110 para o dissipador de calor.

[00101] Em algumas modalidades, o líquido 130 pode compreender um líquido particularmente denso e/ou um ou mais aditivos podem ser incluídos no líquido 130 para aumentar a densidade ou inércia do líquido 130 para aumentar o momento desenvolvido quando o líquido 130 é acelerado e desse modo aumentar o momento transferido para o tubo 110 para avançar o tubo 110 ao longo da passagem.

[00102] Em algumas modalidades, como para uso médico, o líquido 130

pode compreender água combinada com um ou mais aditivos, como etanol para reduzir tensão superficial e viscosidade, ácido cítrico ou ácido acético para reduzir o nível de pH; ou sais como cloreto de sódio para aumentar a densidade.

[00103] Em algumas modalidades, a superfície interna 126 do tubo 110 pode definir uma variação topográfica de escala relativamente grande (por exemplo, com escalas de comprimento na faixa de aproximadamente 5% a 10% do diâmetro interno do tubo 110) configurada para aumentar a transferência de momento a partir do líquido 130 para o tubo 110 durante o aumento súbito de pressão.

[00104] Com referência às figuras 10A a 10C, segmentos de tubo 110 são mostrados ilustrando alguns exemplos de variações topográficas em escala grande definidas pela superfície interna 126, de acordo com algumas modalidades. A superfície interna 126 pode definir uma pluralidade de cristas anulares periódicas 1010 estendida de volta em uma direção proximal (no sentido da extremidade segunda ou proximal 124 do canal 120). As cristas 1010 aparecem como um padrão de árvore de pinheiro estendido, ou dentes proximamente estendidos em seção transversal como mostrado nas figuras 10A a 10C.

[00105] As cristas anulares proximamente estendidas 1010 podem fornecer um efeito diodo de fluido, pelo que há maior resistência a fluxo de fluido na direção distal e relativamente menos resistência a fluxo de fluido na direção proximal. Esse efeito pode aprimorar transferência de momento a partir do líquido 130 para o tubo 110 durante o aumento súbito de pressão.

[00106] Em algumas modalidades, as cristas anulares 1010 podem não ser proximamente estendidas, e um efeito de diodo de fluido pode ser obtido com um tipo diferente de variação topográfica ou, em algumas modalidades, nenhum.

[00107] Como descrito acima, quando o canal 120 acomoda um volume de líquido 130 e um volume separado de gás 133 em um estado inicial ou resto, o atuador de pressão 140 pode ser configurado para aumentar a pressão de canal para dissolver o gás 133 no líquido 130 (isso pode ser mencionado como uma fase de aumento de pressão), e subsequentemente diminuir a pressão de canal para induzir nucleação e cavitação de bolhas de gás 133 no líquido 130 (isso pode ser mencionado como uma fase de diminuição de pressão). Alternativamente, quando o canal 120 acomoda somente o líquido 130 no estado inicial ou resto, o atuador de pressão 140 pode ser configurado para diminuir a pressão de canal para induzir nucleação e cavitação de bolhas de gás 133 no líquido 130 (a fase de diminuição de pressão) e subsequentemente aumentar a pressão de canal para colapsar as bolhas de gás 133 (através de condensação ou dissolução) para dentro do líquido 130 (a fase de aumento de pressão).

[00108] Em algumas modalidades, a fase de aumento de pressão pode ser substancialmente similar em duração à fase de diminuição de pressão. Em algumas modalidades, a duração da fase de aumento de pressão pode ser significativamente mais curta que a duração da fase de diminuição de pressão.

[00109] Em algumas modalidades, o atuador de pressão 140 pode ser configurado para aumentar a pressão durante um período de tempo que está entre aproximadamente 1% e 50% de um período de tempo no qual a pressão é reduzida, opcionalmente entre aproximadamente 5% e 30%, opcionalmente entre aproximadamente 10% e 20%, por exemplo.

[00110] Como descrito acima, o atuador de pressão 140 pode compreender qualquer aparelho adequado para variar a pressão de canal no modo descrito. Em algumas modalidades, o atuador de pressão 140 pode compreender um diafragma flexível com um mecanismo configurado para defletir ou deformar o diafragma para alterar o volume do sistema e controlar a pressão de canal. Em

algumas modalidades, o atuador de pressão 140 pode compreender um pistão de reciprocitar acionado por um motor, como um motor elétrico ou motor linear, por exemplo.

[00111] Com referência à figura 11, um perfil de deslocamento exemplificador $x(t)$ e perfil de velocidade correspondente $v(t)$ são mostrados ilustrando o movimento do atuador de pressão 140, na forma de um pistão, ao longo do tempo, de acordo com algumas modalidades.

[00112] Os perfis de deslocamento e velocidade mostram uma fase de aumento de pressão 1110 seguido por uma fase de diminuição de pressão 1120. Durante a fase de aumento de pressão 1110 (correspondendo a um curso de compressão do pistão), o pistão é submetido a uma aceleração rápida 1112 que é tornada possível pela natureza altamente compressível das bolhas de gás 133.

[00113] Após as bolhas de gás 133 colapsarem de volta no líquido 130, há uma súbita desaceleração 1114 do pistão devido à natureza relativamente incompressível do líquido 130 (isto é, muito menos compressível do que o gás 133). A súbita desaceleração 1114 do pistão e líquido 130 resulta em um grande impulso e transferência de momento a partir do líquido 130 para o tubo 110 e um efeito propulsivo consequente que atua para avançar o tubo 110 ao longo da passagem 103.

[00114] Depois da desaceleração 1114 do pistão, após a pressão de canal ter atingido um máximo a fase de diminuição de pressão 1120 começa quando o pistão é retirado. O curso de retirada (fase de diminuição de pressão 1120) pode ser significativamente mais lento que o curso de compressão (fase de aumento de pressão 1110) devido ao tempo necessário para que nucleação e cavitação das bolhas de gás 133 ocorram. A pressão de canal é então diminuída a um mínimo. O movimento do pistão pode então ser repetido em um modo similar para repetir o ciclo de variação de pressão.

[00115] O atuador de pressão 140 pode ser configurado para aumentar e diminuir repetidamente a pressão de canal para transmitir momento para o tubo 110 com múltiplos impulsos, cada impulso sendo associado a fases de aumento de pressão correspondentes. Em algumas modalidades, a pressão de canal pode variar pelo atuador de pressão 140 em um modo periódico ou cíclico com um ciclo de pressão de repetição (isto é, aumento de pressão seguido por diminuição de pressão). Em algumas modalidades, o atuador de pressão 140 pode ser configurado para variar a pressão de canal de acordo com um ciclo de pressão de repetição com uma frequência na faixa de aproximadamente 0,1Hz a 10Hz, aproximadamente 0,5Hz a 5Hz, aproximadamente 0,5Hz a 1,5Hz, aproximadamente 2Hz a 4Hz, ou aproximadamente 3Hz, por exemplo.

[00116] Em algumas modalidades, o atuador de pressão 140 pode ser configurado para operar em um ciclo inverso para ajustar a pressão de canal para transmitir um impulso inverso para o tubo 110 para mover o instrumento em uma direção proximal. Esse ciclo de pressão inversa pode ser usado para retirar o instrumento da passagem.

[00117] Com referência à figura 12, um perfil de pressão/tempo exemplificador é mostrado, de acordo com algumas modalidades, ilustrando as alterações em pressão de canal necessárias para comprimir as bolhas de gás 133 para dentro do líquido 130 quando a pressão é aumentada, e subsequentemente induzir cavitação de bolhas de gás 133 no líquido 130 quando a pressão é reduzida. A escala de pressão é mostrada em quilopascal (kPa) acima da pressão atmosférica e a escala de tempo é mostrada em segundos. A pressão de canal é reduzida gradualmente durante um período de aproximadamente 0,3s, e então subitamente aumentada durante um período de aproximadamente 0,05s. esse ciclo de pressurização é repetido em uma frequência de aproximadamente 3 Hz.

[00118] Como discutido anteriormente, em algumas modalidades pode ser

desejável para o canal 120 ser relativamente pequeno para aumentar a probabilidade de bolhas abrangentes 133e se formar antes da compressão. O diâmetro interno do canal 120 pode estar na faixa de 0,1mm a 10mm, 0,1mm a 1mm, 0,1mm a 0,5mm, 1mm a 7mm, ou 2mm a 5mm, por exemplo. Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão 100 pode compreender uma pluralidade dos tubos 110 estendendo lado a lado como ilustrado pelas seções transversais das configurações de tubo de exemplo mostradas nas figuras 13A e 13B.

[00119] Em algumas modalidades, os tubos 110 podem ser dispostos em torno de um canal de instrumento 1301 configurado para receber uma sonda como um endoscópio, por exemplo, como ilustrado na figura 13B. Em algumas modalidades, os tubos 110 podem ser dispostos em um feixe para inserção em um lúmen de uma sonda como um endoscópio, por exemplo, como ilustrado na figura 13A. Em algumas modalidades, os tubos 110 podem ser integralmente formados como parte de uma sonda como um endoscópio, com canais de instrumento (por exemplo, trato de vídeo, iluminação, irrigação, sucção, direção, biópsia e outros canais de instrumento) estendendo ao longo dos tubos 110.

[00120] Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão 100 pode compreender um primeiro tubo 110 dentro de um segundo tubo 110, com o líquido 130 e gás 133 contido em um canal anular 120 definido entre os dois tubos 110. Um lúmen interno do primeiro tubo 110 pode conter também líquido 130 e gás 133, ou alternativamente, em algumas modalidades, o lúmen interno do primeiro tubo 110 pode definir um canal de instrumento.

[00121] O tubo 110 ou tubos 110 podem ser formados de um material flexível com Resistencia e rigidez suficientes para resistir a forças esperadas para uma dada aplicação. Para aplicações médicas, alguns materiais adequados podem compreender polietileno ou outros polímeros biocompatíveis com peso

molecular alto a ultra alto, por exemplo. Em algumas modalidades, o tubo 110 ou tubos 110 podem ser formados de materiais compósitos, como uma espiral de polietileno com revestimentos de elastômero de silicone e poliuretano, por exemplo.

[00122] As dimensões dos tubos 110 podem variar para aplicações diferentes. Por exemplo, para um endoscópio médico, como um endoscópio gastrointestinal, um dispositivo de propulsão de tubo único pode compreender um tubo 110 com um diâmetro externo de 8mm e um diâmetro interno de 6mm, ou um diâmetro externo de 6mm e um diâmetro interno de 4,5mm, ao passo que um dispositivo de propulsão de multi-tubos pode compreender 4 tubos 110, cada tendo um diâmetro externo de 3mm e um diâmetro interno de 2mm. Em algumas modalidades, o tubo 110 de um dispositivo de propulsão de tubo único 100 ou os tubos 110 de um dispositivo de propulsão de multi-tubos 100 pode ter um diâmetro interno na faixa de 1mm a 5mm, por exemplo, e um diâmetro externo na faixa de 0,5mm a 15mm, 1mm a 10mm, 2mm a 8mm ou 4mm a 6mm, por exemplo. Os comprimentos de endoscópios médicos estão tipicamente na faixa de aproximadamente 1m a 5m, ou aproximadamente 3m a 4m, por exemplo. Em algumas modalidades, como para endoscopia gastrointestinal, o(s) tubo(s) 110 pode(m) ter um comprimento na faixa de 3m a 4m, 1m a 5m, ou mesmo maior que 5m, como 5m a 15m, ou 7m a 9m, para aplicações veterinárias, por exemplo. Em algumas modalidades, como para endoscopia arterial, o(s) tubo(s) pode(m) ter um comprimento na faixa de 0,5m a 2m, 0,7m a 1,5m ou 0,9m a 1,2m, por exemplo. Em algumas modalidades, como para endoscópios industriais, as dimensões dos tubos podem ser muito maiores.

[00123] Para aplicações médicas, normalmente será importante para o dispositivo de propulsão 100 ser esterilizado. Para essa finalidade, pode ser desejável para pelo menos parte do dispositivo 100 compreender um

componente descartável que pode ser fornecido em uma embalagem esterilizada e descartado após uso. Com referência à figura 14, um dispositivo de propulsão 1400 é mostrado de acordo com algumas modalidades. O dispositivo de propulsão 1400 compreende geralmente recursos similares àqueles descritos em relação ao dispositivo de propulsão 100 e são mencionados com números similares. Um atuador de pressão 1440 e extremidade proximal 1414 de um tubo 1410 definindo um canal 1420 são mostradas. Será entendido que o tubo 1410 se estende até uma extremidade distal (não mostrada) como descrito em relação ao dispositivo de propulsão 100 da figura 1. O tubo 1410 pode ser referido como um tubo de propulsão e pode compreender recursos similares ao tubo 110 descrito acima. Em algumas modalidades, o tubo 1410 pode compreender tubo 110, ou um feixe de tubos 110 como descrito em relação às figuras 13A ou 13B.

[00124] O atuador de pressão 1440 compreende um alojamento 1442, um mecanismo de acionamento 1444 (na forma de um motor), uma haste de acionamento 1445 e um soquete 1448 definido em um lado do alojamento 1442. O atuador de pressão 1440 compreende ainda um conjunto de pistão 1450 compreendendo um corpo 1452 definindo um cilindro 1454, um pistão 1456 disposto no cilindro e uma vedação de pistão 158 para vedar o pistão 1456 contra um furo interno 1460 do cilindro 1454. O pistão 1456 e cilindro 1454 atuam juntos para formar uma bomba de pistão. Entretanto, em algumas modalidades, um tipo diferente de bomba ou compressor pode ser usado para ajustar a pressão de canal no tubo 1410, por exemplo, uma bomba de diafragma, como descrito abaixo em relação à figura 17.

[00125] O conjunto de pistão 1450 é ligado ao tubo 1410 para formar uma unidade de tubo 1401. A unidade de tubo 1401 pode ser fabricada e preenchida com uma massa predeterminada de líquido 130 e uma massa predeterminada de gás 133 vedada dentro do canal 1420 do tubo 1410 em uma pressão

predeterminada. A unidade de tubo 1401 pode ser então embalada e esterilizada separadamente a partir do alojamento 1442 (incluindo o soquete 1448 e mecanismo de acionamento 1444) de modo que o alojamento 1442 possa ser reesterilizado e reutilizado, enquanto a unidade de tubo 1401 pode ser fabricada e esterilizada como uma unidade descartável a ser descartada após uso.

[00126] Esta disposição pode tornar mais fácil esterilizar o fluido 130, 133 e unidade de tubo 1401 juntos ao invés de ter de preencher o tubo 1410 com fluido esterilizado 130, 133 em um ambiente esterilizado como um centro cirúrgico.

[00127] O conjunto de pistão 1450 é acoplado de modo removível ao alojamento 1442 (isto é, removível do soquete 1448). O soquete 1448 pode compreender uma parede cilíndrica interna 1486 que ajuda a definir o soquete 1448 e acomodar o conjunto de pistão 1450 no soquete 1448.

[00128] O corpo 1452 define uma primeira abertura 1462 e uma segunda abertura 1464 com o cilindro 1454 definindo uma passagem aberta entre a primeira e segunda aberturas 1462, 1464. A extremidade proximal 1414 do tubo 1410 é conectada ao corpo 1452 do conjunto de pistão 1450 na segunda abertura 1464, de modo que o canal 1420 esteja em comunicação de fluido com o cilindro 1454. O diâmetro interno ou furo do cilindro 1454 pode ser significativamente maior que o diâmetro interno do tubo 1410 de modo que um comprimento de curso relativamente mais curto seja necessário para afetar as alterações de pressão desejadas no tubo 1410. Por exemplo, a razão entre os diâmetros internos do tubo 1410 e cilindro 1454 pode estar na faixa de 0,01 a 0,5, 0,05 a 0,4, 0,1 a 0,3 ou 0,1 a 0,2.

[00129] O diâmetro interno do cilindro 1454 pode afilar gradualmente até o diâmetro interno do tubo 1410 na segunda abertura 1464. Em algumas

modalidades, a segunda abertura 1464 pode ser deslocada a partir de um eixo central do corpo 1452, e pode ser disposta em ou perto de um topo do cilindro 1454 quando o atuador de pressão 1440 é disposto em uma configuração horizontal. Isso pode reduzir a probabilidade de bolhas de gás, que podem ser formadas no cilindro 1454 durante cavitação, sendo presas no cilindro e ao invés, permitir que as bolhas se elevem em direção à segunda abertura 1464 e para dentro do tubo 1410 devido à gravidade.

[00130] O atuador de pressão 1440 é configurado para mover o pistão 1456 para frente e para trás ao longo do comprimento do cilindro 1454 para ajustar a pressão de canal, como por variar a pressão de canal no tubo 1410. Um curso de compressão, ou curso de aumento de pressão, move o pistão 1456 em direção ao tubo 1410 e empurra fluido a partir do cilindro 1454 e para dentro do tubo 1410, desse modo aumentando a pressão de canal no tubo 1410. Um curso de retorno, ou curso de diminuição de pressão ou retirada, move o pistão 1456 na direção oposta ao tubo 1410 e permite que fluido flua de volta para dentro do cilindro 1454 a partir do tubo 1410, desse modo diminuindo a pressão de canal no tubo 1410.

[00131] O motor 1444 e haste de atuação 1446 são dispostos no alojamento 1442, de modo que quando o conjunto de pistão 1450 é disposto no soquete 1448, a haste de atuação 1446 é alinhada com a primeira abertura 1462 do corpo 1452 e pode passar através da primeira abertura 1462 para fazer contato com e mover o pistão 1456 dentro do cilindro 1454. Em algumas modalidades, a pressão de canal dentro do tubo 1410 pode ser suficiente para mover o pistão 1456 através do curso de retorno quando a haste de acionamento 1446 é retirada do cilindro 1454. Em algumas modalidades, o conjunto de pistão 1450 pode compreender ainda um membro de tensionamento 1470, como uma mola, para tensionar o pistão 1456 contra a haste de atuação 1446 e/ou na direção

oposta do tubo 1410, de modo que o pistão 1456 seja empurrado de volta através do curso de retorno pelo membro de tensionamento 1470 quando a haste de acionamento 1446 é retirada do cilindro 1454. Por exemplo, o membro de tensionamento 1470 pode compreender uma mola de aço inoxidável e/ou uma mola helicoidal. Em algumas modalidades, a haste de acionamento 1446 pode ser acoplável removivelmente ao próprio pistão 1456 para permitir que a haste de atuação 1446 puxe o pistão 1456 de volta bem como empurrando o pistão 1456 para frente.

[00132] O conjunto de pistão 1450 pode compreender ainda um anel de travamento 1466 para restringir o pistão 1450 de ser removido do cilindro 1454 através da primeira abertura 1462. Em algumas modalidades, o mecanismo de acionamento 1444 pode compreender um ou mais eletroímãs configurados para acionar o pistão 1456 diretamente ao invés de através de um motor e haste de atuação.

[00133] O corpo 1452 pode definir ainda um ou mais ressalto de travamento 1468 configurados para engatar o soquete 1448 para acoplar o conjunto de pistão 1450 ao alojamento 1442. O soquete 1448 pode compreender também um ou mais flanges externos 1488 configurados para engatar os ressalto 1468 para fixar o conjunto de pistão 1450 no soquete 1448. Desse modo, o conjunto de pistão 1450 é configurado para ser acoplado removivelmente ao alojamento 1442, de modo que o conjunto de pistão 1450 e o tubo 1410 possam ser fabricados juntos como uma unidade de tubo descartável única, enquanto o alojamento 1442 e motor 1444 podem ser reutilizados com uma unidade de tubo nova para cada operação nova. Os ressalto de travamento 1468 podem ser alternativamente referidos como abas ou projeções radiais, por exemplo.

[00134] A unidade de tubo pode ser montada com líquido 130 e gás 133

disposto no canal 1420 (em pressão atmosférica ou em uma pressão mais alta dependendo da aplicação) e conectada ao conjunto de pistão 1450 para vedar líquido 130 e gás 133 dentro da unidade de tubo. Em algumas modalidades, o corpo 1452 pode ser fixo à extremidade proximal 1414 do tubo 1410 e o pistão 1456 subsequentemente colocado no cilindro 1454 e travado com o anel de travamento 1466 para vedar o líquido 130 e gás 133 no canal 1420 e cilindro 1454. A vedação 1458 pode compreender uma ou mais gaxetas como *o-rings*, que podem ser assentadas em uma ou mais sedes de gaxeta correspondentes definidas no pistão 1456, ou alternativamente na superfície interna do cilindro 1454.

[00135] Em algumas modalidades, o corpo 1452 do conjunto de pistão 1450 pode incluir uma válvula de entrada 1490 para preencher o cilindro 1454 e o canal 1420 do tubo 1410 com uma massa predeterminada de um líquido selecionado 130 e uma massa predeterminada de um gás selecionado 133. O corpo 1452 pode incluir também uma válvula de saída 1492 para permitir que ar seja liberado do canal 1420 e cilindro 1454 enquanto estão sendo preenchidos com líquido 130 e gás 133.

[00136] As válvulas 1490, 1492 podem estar situadas em uma extremidade do corpo 1452 perto da segunda abertura e podem ser configuradas para manter pressão dentro do cilindro 1454 e canal 1420. Em algumas modalidades, as válvulas 1490, 1492 podem compreender válvulas de êmbolo de mola. A válvula de entrada 1490 pode estar situada relativamente mais próxima à segunda abertura 1464 e a válvula de saída 1492 pode estar situada relativamente mais distante da segunda abertura 1464, como mostrado na figura 14.

[00137] Para preencher a unidade de tubo 1401 com o gás 133 e líquido 130, o corpo 1452 pode ser retido de cabeça para baixo, ou disposto com as válvulas 1490, 1492 dispostas acima da segunda abertura, com a maior parte ou

substancialmente todo o volume do canal 1420 e cilindro 1454 em um nível mais baixo do que a válvula de saída 1492. Isso é para encorajar ar em excesso a se elevar em direção à válvula de saída 1492 quando o canal 1420 e cilindro 1452 estão sendo preenchidos com líquido 130. O ar pode ser aspirado a partir da válvula de saída 1492 através de uma linha de vácuo ou outra sucção.

[00138] Em alguns casos, o líquido 130 e gás 133 podem ser misturados juntos em um vaso de pressão, de modo que o gás 133 seja totalmente dissolvido no líquido 130 em uma solução saturada, em cujo caso a solução de gás/líquido pode ser introduzida na unidade de tubo 1401 através da válvula de entrada 1490 quando o ar é removido através da válvula de saída 1492. Se o gás 133 e líquido 130 forem para ser introduzidos separadamente, pode ser preferível primeiramente remover tanto ar quanto possível a partir do canal 1420 e cilindro 1454 através da válvula de saída 1492, antes de injetar o líquido 130 para dentro do canal 1420 e cilindro 1454 através da válvula de entrada 1490, removendo qualquer ar restante através da válvula de saída 1492; e então injetando o gás 133 para dentro do canal 1420 e cilindro 1454 através da válvula de entrada 1492.

[00139] Alternativamente, o tubo 1410 pode ser formado com uma extremidade distal aberta, o líquido 130 e gás 133 podem ser sugados ao longo do canal 1420 e para dentro do cilindro 1454 quando o ar é retirado do cilindro 1454, e então a extremidade distal do tubo 1410 pode ser fechada com um tampão e estampagem de aço para reter o tampão no canal 1420 e vedar o tubo 1410. Entretanto, pode ser preferível formar o tubo 1410 com uma extremidade distal fechada para evitar ter de fechar o mesmo com um tampão ou outro meio.

[00140] Após a unidade de tubo ser totalmente montada com o líquido 130 e gás 133 vedados no interior do canal 1420 e cilindro 1454, a unidade de tubo pode ser embalada e esterilizada com gama radiação, por exemplo. Juntos, o

tubo 1410 e conjunto de pistão 1450 podem definir um vaso vedado contendo uma massa selecionada de líquido 130 e uma massa selecionada de gás 133. Em algumas modalidades, um fecho hermético a gás pode ser encaixado no corpo 1452 do conjunto de pistão 1450 durante embalagem para fechar a primeira abertura 1462 do cilindro 1454 e auxiliar a manter uma pressão selecionada de canal de tubo até uso. O corpo 1452 pode compreender uma porção de engate (não mostrada) definindo um ou mais recessos, encaixes ou projeções para engatar o fechamento e formar uma vedação hermética a gás.

[00141] Em algumas modalidades, o atuador de pressão 1440 pode compreender uma bomba de diafragma ao invés de uma bomba de pistão para controlar a pressão de canal no tubo 1410. Com referência à figura 17, o dispositivo de propulsão 1400 é mostrado com uma unidade de tubo alternativa 1701, compreendendo um conjunto de bomba de diafragma 1750 ao invés do conjunto de pistão 1450 descrito acima. Em todos os outros aspectos, a unidade de tubo 1701 pode ser substancialmente similar à unidade de tubo 1401 descrita acima com características similares indicadas com numerais de referência similares.

[00142] O conjunto de bomba de diafragma 1750 compreende um corpo 1752 que define uma câmara 1754 se estendendo entre uma primeira abertura 1762 e uma segunda abertura 1764, e um diafragma 1770 que fecha ou cobre a primeira abertura 1762 da câmara 1754. A extremidade proximal 1414 do tubo 1410 é conectada ao corpo 1752 do conjunto de bomba de diafragma 1750 na segunda abertura 1764, de modo que o canal 1420 esteja em comunicação de fluido com a câmara 1754. O corpo 1752 pode definir adicionalmente um ou mais ressaltos 1768 configurados para engatar os flanges 1488 do soquete 1448 para acoplar o conjunto de bomba de diafragma 1750 ao alojamento 1442.

[00143] Em algumas modalidades, o corpo 1752 do conjunto de bomba de

diafragma 1750 pode incluir uma válvula de entrada 1790 e válvula de saída 1792, que podem ser configuradas em um modo similar a válvulas 1490 e 1492 como descrito em relação à unidade de tubo 1401 e corpo 1452.

[00144] O diafragma 1770 pode ser formado separadamente e retido no lugar sobre a primeira abertura 1762 da câmara 1754 por um prendedor 1772. Por exemplo, o prendedor 1772 pode compreender um anel de travamento rosqueado configurado para engatar rosqueadamente o corpo 1752 desse modo prendendo uma periferia do diafragma 1770 entre o corpo 1752 e o prendedor 1772, como mostrado na figura 17. Em outras modalidades, o diafragma 1770 pode ser integralmente formado com o corpo 1752, por exemplo, usando um processo de moldagem de compósito.

[00145] O diafragma 1770 compreende uma membrana resilientemente deformável que pode ser deformada por um atuador para alterar o volume da câmara 1754 em comunicação de fluido com o canal 1420 do tubo 1410. Uma porção central 1774 do diafragma 1770 pode ser acoplada de modo removível à haste de atuação 1446 do mecanismo de acionamento 1444. O diafragma 1770 inclui uma porção resilientemente deformável 1776 circundando a porção central 1774 que permite que a porção central 1774 do diafragma seja movida para frente e para trás em relação ao corpo 1752 ao longo de um eixo 1780 que é substancialmente normal (perpendicular) a uma superfície da porção central 1774. Por exemplo, paralelo a ou em alinhamento com o movimento axial da haste de atuação 1446 do mecanismo de acionamento ou motor linear 1444.

[00146] À medida que a porção central 1774 do diafragma 1770 se move para frente e para trás entre uma posição comprimida 1778^a (mostrada em linhas tracejadas) e uma posição retirada 1778^b (mostrada em linhas cheias), o volume da câmara 1754 é alterado. Desse modo, a pressão de canal no tubo 1410 pode ser ajustada e controlada por controlar a posição da haste de atuação

1446 e porção de central 1774 do diafragma 1770.

[00147] O diafragma 1770 pode ser redondo ou simétrico de modo rotacional, porém pode definir qualquer formato adequado para uma membrana resiliestamente deformável. A câmara 1754 é ilustrada como um cilindro na figura 17, porém pode definir qualquer formato adequado para fornecer a faixa desejada de pressão de canal. Em algumas modalidades, a câmara 1754 pode ser relativamente curta e afilar em direção à segunda extremidade 1764 permitindo um diafragma relativamente grande 1770 e diâmetro relativamente estreito da segunda abertura 1764, para permitir uma faixa maior de pressões de canal para relativamente pouco movimento axial do diafragma.

[00148] Em algumas modalidades, unidades de tubo diferentes para aplicações médicas diferentes podem ser encaixadas com conjuntos de pistão similares para permitir que cada das unidades de tubo diferentes seja usada com um alojamento comum 1442 e motor 1444. Em algumas modalidades, uma pluralidade de tubos 1410 pode ser conectada a um conjunto de pistão único 1450 com o canal 1420 de cada tubo 1410 estando em comunicação de fluido com o cilindro 1454 do conjunto de pistão 1450.

[00149] Em algumas modalidades, o alojamento 1442 pode compreender um console de acionamento ou unidade de acionamento 1500 como mostrado na figura 15. O console de acionamento 1500 pode compreender um comutador de potência 1502 para controlar o fornecimento de potência para o console de acionamento 1500 a partir de uma fonte de potência 1560.

[00150] O soquete 1448 pode compreender um ou mais flanges circunferenciais 1488 que se estendem parte do caminho em torno de uma circunferência do soquete e se estendem radialmente para dentro para reter os ressaltos 1468 do corpo 1452 no soquete 1448. Os ressaltos 1468 são mostrados

em linhas tracejadas na figura 15, se projetando radialmente na direção oposta ao corpo 1452 para ser acomodado dentro ou sob os flanges 1488. Os ressaltos 1468 também se estendem circunferencialmente em torno de parte do corpo 1452.

[00151] Tanto os ressaltos 1468 como os flanges 1488 são dispostos de modo que haja folgas entre os flanges 1488 para permitir passagem dos ressaltos 1468 e folgas entre os ressaltos 1468 para permitir passagem dos flanges 1488 ao acoplar ou desacoplar o conjunto de pistão 1450 a ou a partir do soquete 1448. Para acoplar o conjunto de pistão 1450 ao alojamento 1442, o corpo 1452 é inserido no soquete 1448 com os ressaltos 1468 alinhados com as folgas entre os flanges 1488, então o corpo 1452 é rotacionado para engatar os ressaltos 1468 em um encaixe justo em um espaço definido entre os flanges 1488 e uma superfície (não mostrada) do alojamento 1442 que é oposta a e diretamente subjacente aos flanges 1488.

[00152] Em algumas modalidades, os ressaltos 1468 e/ou flanges 1488 podem compreender uma trava de clique resiliente, grampo ou trava para fixar o corpo 1452 contra rotação no alinhamento conectado com os ressaltos 1468 engatados com os flanges 1488. Os ressaltos 1468, e/ou flanges 1488 podem também compreender um batente para limitar rotação do conjunto de pistão 1450 além do ângulo no qual os ressaltos 1468 estão totalmente engatados com os flanges 1488.

[00153] Para desacoplar o conjunto de pistão 1450 a partir do alojamento 1442, o corpo 1450 é rotacionado para desengatar os ressaltos 1468 a partir dos flanges 1488 com os ressaltos 1468 alinhados com as folgas entre os flanges 1488. Então, o conjunto de pistão 1450 pode ser removido do soquete 1448.

[00154] Em algumas modalidades, o corpo 1450 pode compreender uma aba indicadora 1480 para indicar a orientação correta ao acoplar o conjunto de

pistão 1450 ao soquete 1448. Os flanges 1488 podem definir um recesso ou recorte complementar, 1482 configurado para permitir passagem da aba indicadora 1480 quando o conjunto de pistão 1450 é corretamente orientado para inserção no soquete 1448. Uma vez inserido no soquete 1448, o corpo 1450 pode ser rotacionado, com a aba indicadora passando sob um ou mais dos flanges 1488, até que os ressaltos 1468 sejam totalmente engatados com os flanges 1488. Em algumas modalidades, o alojamento 1442 pode compreender um sinal ou marcação para indicar a posição da aba indicadora 1480 quando os ressaltos 1468 estão totalmente engatados com os flanges 1488.

[00155] O console de acionamento 1500 pode compreender uma luz indicadora de conexão 1504 configurada para acender quando o conjunto de pistão 1450 é conectado ao console de acionamento 1500. O console de acionamento 1500 pode compreender um sensor (não mostrado) para detectar quando o conjunto de pistão 1450 é conectado ao soquete 1448 e/ou quando os ressaltos 1468 são totalmente engatados com os flanges 1488. Quando o sensor detecta conexão do conjunto de pistão 1450 ao console de acionamento 1500, pode disparar um sinal ou completar um circuito elétrico para ligar a luz indicadora de conexão 1504.

[00156] O console de acionamento pode compreender uma luz indicadora de operação ou luz indicadora de funcionamento 1506 configurada para acender quando o atuador de pressão 1440 está em operação. A luz indicadora 1506 pode ser incluída em ou ligada a um circuito elétrico controlando o fornecimento de potência ao motor 1444, de modo que a luz indicadora 1508 seja ligada quando o motor 1444 está em operação.

[00157] Em algumas modalidades, o console de acionamento 1500 pode incluir um terminal de conexão 1508 configurado para receber um conector de um cabo de sinal a partir de um controlador externo, como um pedal interruptor,

para controlar operação do atuador de pressão 1440. Em algumas modalidades, o console de acionamento 1500 pode incluir um display ou interface de usuário 1510 para fornecer informações para um usuário em relação a operações do dispositivo de propulsão 1400 e/ou permitir que o usuário controle operações do dispositivo de propulsão 1400. Em algumas modalidades, o console de acionamento 1500 pode compreender um computador e/ou controlador 1550 configurado para controlar operações do dispositivo de propulsão 1400.

[00158] O computador 1550 pode ser conectado à interface de usuário 1510 para fornecer informações sobre as operações do dispositivo de propulsão 1400 e, em algumas modalidades, pode receber entradas a partir da interface de usuário para selecionar certos parâmetros operacionais. A interface de usuário 1510 pode compreender uma interface de usuário gráfico de display inteligente, e o computador 1550 pode compreender um microprocessador programável para controlar funções do console de acionamento 1500 e mecanismo de acionamento 1444. A fonte de potência 1560 pode ser conectada ao console de acionamento 1500 e computador 1550, e o computador 1550 pode controlar o fornecimento de potência para vários componentes do console de acionamento 1500.

[00159] Com referência à figura 16, um sistema endoscópico 1600 é mostrado de acordo com algumas modalidades. O sistema endoscópico 1600 compreende um endoscópio 1601 tendo um tubo de inserção 1610 para inserção em um paciente; um console de endoscópio 1620 para controlar operações do endoscópio, uma peça manual de endoscópio 1630 para controle adicional e/ou alternativo de operações do endoscópio 1601; um dispositivo de propulsão 1400 para avançar o endoscópio 1601 e tubo de inserção 1610 ao longo de uma passagem dentro de um paciente, e uma fonte de potência (não mostrada) para fornecer potência ao console de acionamento 1500 e console de

endoscópio 1620.

[00160] O dispositivo de propulsão 1400 compreende um tubo de propulsão 1410 para inserção no tubo de inserção 1610 como descrito acima e um console de acionamento 1500 para controlar operações do dispositivo de propulsão 1400.

[00161] O sistema endoscópico 1600 pode compreender ainda um monitor 1640 configurado para exibir imagens recebidas de uma câmera do endoscópio através do console de endoscópio 1620.

[00162] O dispositivo de propulsão 1400 pode ser operado para fornecer uma força propulsiva para o endoscópio 1601 e tubo de inserção 1610 através de transferência de momento no tubo de propulsão 1410, como descrito acima. A força propulsiva pode ser usada para avançar o endoscópio 1601, tubo de inserção 1610 e tubo de propulsão 1410 ao longo de uma passagem dentro de um paciente.

[00163] À medida que o momento é transferido para o tubo de propulsão 1410 ao longo de seu comprimento, pode haver um risco reduzido do tubo de inserção 1610 ficar preso ou resistência reduzida à medida que navega curvas da passagem (por exemplo, curvas do trato gastrointestinal), como pode frequentemente ocorrer com endoscópios do tipo de empurrar convencionais. Esse método de propulsão pode também reduzir fricção em cada curva à medida que o endoscópio avança ao longo da passagem, pois fornece uma alternativa para simplesmente empurrar o endoscópio contra cada curva para avançar adicionalmente o endoscópio, como é feito com endoscópios de empurrar convencionais.

[00164] Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão 1400 pode ser capaz de avançar o endoscópio 1601 ao longo da passagem em velocidades de avanço de aproximadamente 1,5 cm/s, por exemplo. Dependendo de várias

circunstâncias, condições e/ou exigências operacionais, a velocidade de avanço pode variar na faixa de 0,1 cm/s a 2 cm/s, ou 0,5 cm/s a 1 cm/s, por exemplo. Em algumas aplicações, o perfil de pressão-tempo pode ser invertido para mover o tubo 1410 para trás ao longo da passagem, por exemplo, para auxiliar na retirada do tubo 1410 a partir da passagem. O dispositivo de propulsão 1400 pode permitir também uma taxa de conclusão melhorada para endoscopia intestinal, por permitir que o endoscópio 1601 seja avançado adicionalmente ou totalmente ao longo do comprimento dos intestinos para permitir que a extensão total do intestino delgado seja examinada. O dispositivo de propulsão 1400 pode também permitir acesso ao trato gastrointestinal total através de endoscopia.

[00165] Em várias modalidades, o dispositivo de propulsão 100, 1400, 1700 pode ser configurado para avançar ao longo de uma passagem qualquer um ou mais de: um instrumento, sonda, sensor, câmera, dispositivo de monitoramento, ferramenta, ferramenta cirúrgica, ferramenta de mineração, ferramenta de perfuração, endoscópio, enteroscópio, duodenoscópio, boroscópio, cabo robô e endoscópio industrial, por exemplo. O dispositivo de propulsão 100, 1400, 1700 pode ser configurado para auxiliar no avanço de um instrumento, sensor ou ferramenta ao longo de qualquer um ou mais de: uma passagem, eixo de mina, poço, tubo, cano de esgoto, cavidade de parede e passagem em um paciente, como um lúmen de uma passagem biológica, artéria ou trato.

[00166] Será reconhecido por pessoas versadas na técnica que inúmeras variações e/ou modificações podem ser feitas nas modalidades acima descritas, sem se afastar do escopo geral amplo da presente revelação. As presentes modalidades devem, portanto, ser consideradas em todos os aspectos como ilustrativas e não restritivas.

REIVINDICAÇÕES

1. Um dispositivo de propulsão para avançar um instrumento ao longo de uma passagem, o dispositivo de propulsão compreendendo:

um tubo alongado compreendendo uma primeira extremidade e uma segunda extremidade oposta à primeira extremidade, o tubo definindo um canal configurado para acomodar um líquido, uma primeira extremidade do canal sendo fechada em ou perto da primeira extremidade do tubo e uma segunda extremidade do canal sendo definida pela segunda extremidade do tubo; e

um atuador de pressão em comunicação com a segunda extremidade do canal e configurado para seletivamente ajustar uma pressão do líquido no canal para alternadamente:

reduzir a pressão para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido, e

aumentar a pressão para colapsar algumas ou todas as bolhas de gás de volta para dentro do líquido, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido em direção à primeira extremidade do tubo e transferindo momento para o tubo para avançar o tubo ao longo da passagem.

2. O dispositivo de propulsão da reivindicação 1, compreendendo ainda um ou mais mecanismos configurados para promover cavitação em uma ou mais regiões do canal quando a pressão é reduzida, em que uma ou mais regiões se estendem ao longo de pelo menos parte de um comprimento do canal.

3. O dispositivo de propulsão da reivindicação 2, em que um ou mais mecanismos são configurados para promover cavitação em uma pluralidade de regiões espaçadas ao longo de pelo menos parte do comprimento do canal.

4. O dispositivo de propulsão da reivindicação 3, em que um ou mais mecanismos compreendem uma variação de superfície em uma superfície interna do canal.

5. O dispositivo de propulsão da reivindicação 4, em que a variação de superfície compreende um revestimento.

6. O dispositivo de propulsão da reivindicação 5, em que o revestimento compreende um material hidrofóbico.

7. O dispositivo de propulsão da reivindicação 5 ou 6, em que o revestimento compreende um material catalítico.

8. O dispositivo de propulsão da reivindicação 5, em que o revestimento compreende um ou mais revestimentos selecionados de: octadeciltriclorosilano, compostos de silano, Parylene C, fluoropolímeros, PTFE (Teflon™), poliestireno de óxido de manganês (MnO₂/PS), poliestireno de óxido de zinco nano-compósito (ZnO/PS), carbonato de cálcio precipitado nano-compósito, oligômeros de acrilato fluorado, uretano, acrílico, polivinilpirrolidona (PVP), óxido de polietileno, combinações de hidroxietilmetacrilato e acrilamidas.

9. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 5 a 8, em que a variação de superfície compreende uma variação topográfica.

10. O dispositivo de propulsão da reivindicação 9, em que a variação topográfica compreende uma superfície arranhada ou esburacada.

11. O dispositivo de propulsão da reivindicação 9 ou 10, em que a variação topográfica define uma pluralidade de canais no formato de V.

12. O dispositivo de propulsão da reivindicação 11, em que um ângulo característico dos canais no formato de V está na faixa de aproximadamente 10° a 90°.

13. O dispositivo de propulsão da reivindicação 11 ou 12, em que uma largura média dos canais no formato de V está na faixa de aproximadamente 1µm a 10µm.

14. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 9 a 13, em que a variação topográfica define uma pluralidade de buracos cônicos.

15. O dispositivo de propulsão da reivindicação 14, em que um ângulo característico dos buracos cônicos está na faixa de aproximadamente 10° a 90°.

16. O dispositivo de propulsão da reivindicação 14 ou 15, em que uma largura média dos buracos cônicos está na faixa de aproximadamente 1μm a 10μm.

17. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 9 a 16, em que a variação topográfica define uma pluralidade de protruções.

18. O dispositivo de propulsão da reivindicação 17, em que uma altura média das protruções está na faixa de aproximadamente 0,1μm a 1mm.

19. O dispositivo de propulsão da reivindicação 17 ou 18, em que uma largura média das protruções está na faixa de aproximadamente 0,1μm a 500μm.

20. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 17 a 19, em que uma distância média entre protruções adjacentes está na faixa de aproximadamente 0,1μm a 500μm.

21. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 9 a 20, em que a variação topográfica tem uma rugosidade de superfície na faixa de aproximadamente 0,1μm a 500μm.

23. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 9 a 21, em que a variação topográfica define uma superfície porosa.

24. O dispositivo de propulsão da reivindicação 23, em que um tamanho médio de poro da superfície porosa está na faixa de aproximadamente 10nm a 200μm.

25. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 2 a 24, em que um ou mais mecanismos compreendem uma variação em uma condutividade térmica de uma parede do tubo ao longo do comprimento do canal.

26. O dispositivo de propulsão da reivindicação 25, em que a condutividade térmica da parede varia ao longo do comprimento do canal em uma faixa de aproximadamente $0.25 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a $240 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

27. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 2 a 26, em que um ou mais mecanismos compreendem um ou mais transdutores acústicos.

28. O dispositivo de propulsão da reivindicação 27, em que um ou mais dos transdutores acústicos são dispostos dentro de uma parede do tubo.

29. O dispositivo de propulsão da reivindicação 27 ou 28, em que um ou mais dos transdutores acústicos são dispostos fora de uma parede do tubo.

30. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 27 a 29, em que uma frequência operacional dos transdutores acústicos está na faixa de aproximadamente 1kHz a 100kHz.

31. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 27 a 30, em que uma potência associada à energia de insonação dirigida a um lúmen do canal pelos transdutores acústicos está na faixa de aproximadamente 10mW a 100mW.

32. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 31, em que o dispositivo é configurado para avançar um instrumento médico ao longo de um lúmen dentro de um paciente.

33. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 32, em que o canal é um canal delimitado contínuo se estendendo a partir da primeira extremidade do tubo até a segunda extremidade do tubo.

34. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 33, em que o tubo é reforçado contra expansão ou contração devido a alterações de pressão interna.

35. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 34,

em que o tubo é formado de um material adequado para esterilização.

36. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 35, compreendendo ainda uma pluralidade dos tubos de qualquer uma das reivindicações 1 a 31 se estendendo lado a lado.

37. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 36, em que o atuador de pressão compreende uma membrana flexível que define uma câmara vedada e um mecanismo de acionamento configurado para deformar a membrana flexível para ajustar seletivamente a pressão do líquido no canal.

38. O dispositivo de propulsão de qualquer uma das reivindicações 1 a 36, em que o atuador de pressão compreende:

um conjunto de pistão incluindo um pistão móvel disposto dentro de um furo do conjunto de pistão; e

um mecanismo de acionamento configurado para acionar o pistão do conjunto de pistão para seletivamente ajustar a pressão do líquido no canal.

39. O dispositivo de propulsão da reivindicação 38, em que o conjunto de pistão é conectado ao tubo para formar uma unidade de tubo vedada contendo o líquido, e

em que o conjunto de pistão é acoplável removivelmente ao mecanismo de acionamento.

40. Uma unidade de tubo de propulsão compreendendo:

um ou mais dos tubos de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 36; e

um conjunto de pistão conectado à segunda extremidade do tubo, o conjunto de pistão compreendendo:

um corpo definindo um furo em comunicação de fluido com o canal de cada de um ou mais tubos; e

um pistão móvel disposto dentro do furo e configurado para vedar contra uma superfície interna do furo.

41. A unidade de tubo de propulsão da reivindicação 40, em que o conjunto de pistão e um ou mais tubos cooperam para definir um vaso vedado contendo uma massa selecionada de líquido e uma massa selecionada de gás.

42. Uma unidade de tubo de propulsão compreendendo:

um dos tubos de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 36; e

um pistão móvel disposto dentro do canal em ou perto da segunda extremidade do tubo e configurado para vedar contra uma superfície interna do canal.

43. A unidade de tubo de propulsão da reivindicação 42, em que o pistão e o tubo cooperam para definir um vaso vedado contendo uma massa selecionada de líquido e uma massa selecionada de gás.

44. Uma unidade de tubo de propulsão compreendendo:

um tubo alongado compreendendo uma primeira extremidade e uma segunda extremidade oposta à primeira extremidade, o tubo definindo um canal configurado para acomodar um líquido, uma primeira extremidade do canal sendo fechada em ou perto da primeira extremidade do tubo e uma segunda extremidade do canal sendo definida pela segunda extremidade do tubo; e

um conjunto de pistão conectado à segunda extremidade do tubo, o conjunto de pistão compreendendo:

um corpo definindo um furo em comunicação de fluido com o canal do tubo; e

um pistão móvel disposto dentro do furo e configurado para vedar contra uma superfície interna do furo,

em que o conjunto de pistão e o tubo cooperam para definir um vaso vedado contendo uma massa selecionada de líquido e uma massa selecionada

de gás.

45. Uma unidade de tubo de propulsão de acordo com a reivindicação 44, em que o conjunto de pistão é configurado para cooperação com um acionador para efetuar movimento do pistão para seletivamente ajustar uma pressão do líquido no canal para alternativamente:

reduzir a pressão para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido;
e

aumentar a pressão para colapsar um pouco ou todas as bolhas de gás de volta no líquido, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido em direção à primeira extremidade do tubo e transferindo momento para o tubo para avançar o tubo ao longo da passagem.

46. Uma unidade de tubo de propulsão de acordo com a reivindicação 44 ou 45, compreendendo ainda um ou mais mecanismos configurados para promover cavitação em uma pluralidade de regiões espaçadas ao longo de pelo menos parte do comprimento do canal quando a pressão é reduzida.

47. Uma unidade de tubo de propulsão de acordo com qualquer uma das reivindicações 44 a 46, em que o tubo define uma pluralidade de canais, cada configurado para acomodar um líquido, uma primeira extremidade de cada canal sendo fechada em ou perto da primeira extremidade do tubo e a segunda extremidade de cada canal sendo definida pela segunda extremidade do tubo, e em que a pluralidade de canais está toda em comunicação de fluido entre si e com o furo do conjunto de pistão.

48. Um console de acionamento compreendendo:
um alojamento definindo um soquete configurado para receber e engatar uma unidade de tubo de propulsão de acordo com qualquer uma das reivindicações 40 a 47;

um atuador configurado para engatar o pistão; e

um controlador configurado para operar o atuador para mover o pistão para seletivamente ajustar uma pressão dentro do canal do tubo.

49. Um método de avançar um instrumento ao longo de uma passagem, o método compreendendo seletivamente ajustar uma pressão de um líquido em um tubo conectado ao instrumento para sucessivamente induzir cavitação de bolhas de gás no líquido e subsequentemente colapsar as bolhas de gás de volta para dentro do líquido para acelerar o líquido dentro do tubo, transferir momento a partir do líquido para o tubo, e avançar o tubo ao longo da passagem.

50. As etapas, processos, subprocessos, características, inteiros, estruturas, componentes, subcomponentes, sistemas, subsistemas, elementos, composições e/ou compostos descritos na presente invenção ou indicados no relatório descritivo desse pedido individual ou coletivamente, e todas e quaisquer combinações de duas ou mais das ditas etapas, processos, subprocessos, características, inteiros, estruturas, componentes, subcomponentes, sistemas, subsistemas, elementos, composições e/ou compostos.

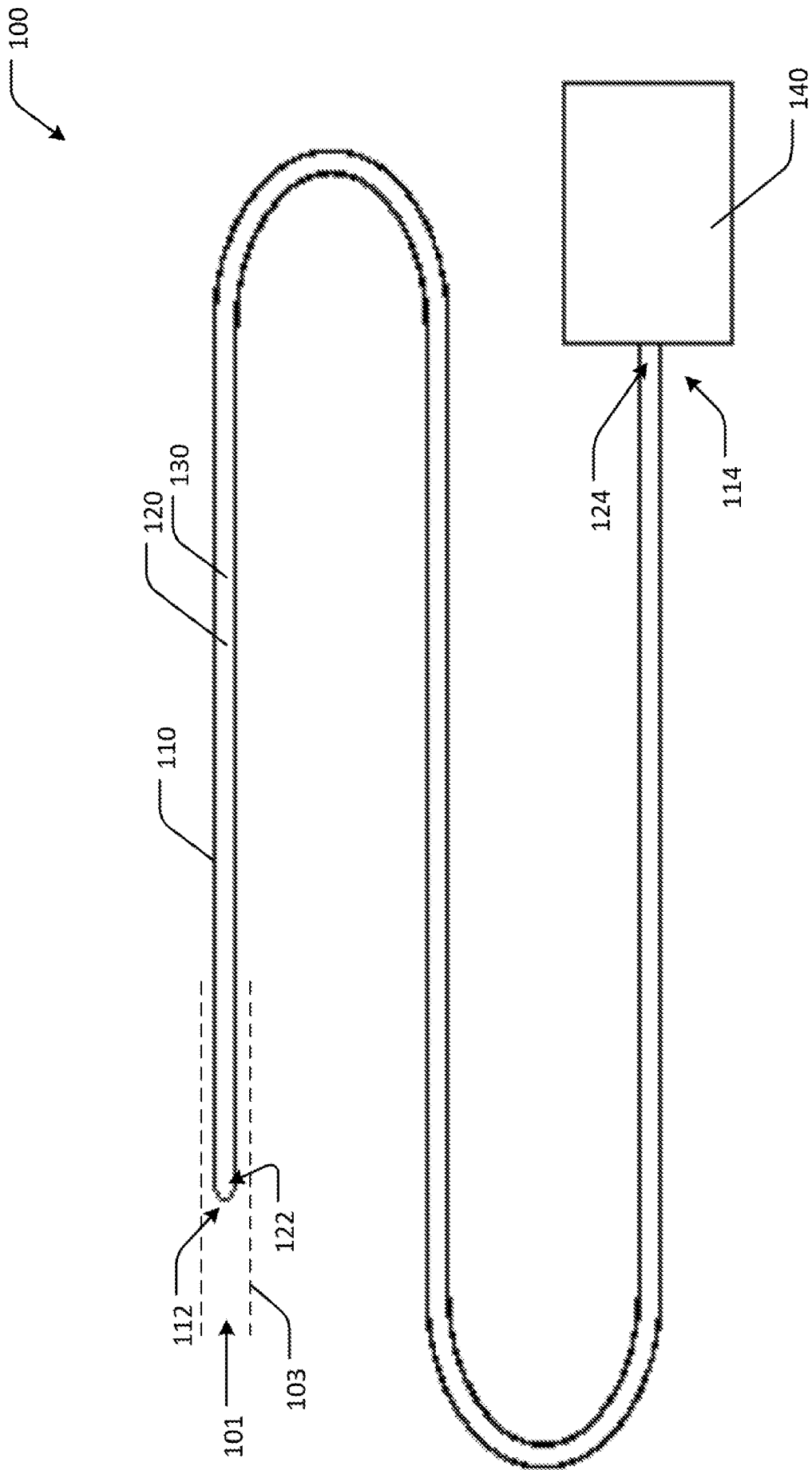


Fig.1

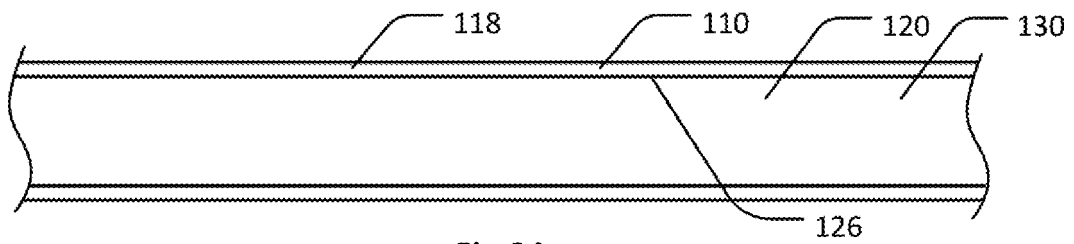


Fig. 2A

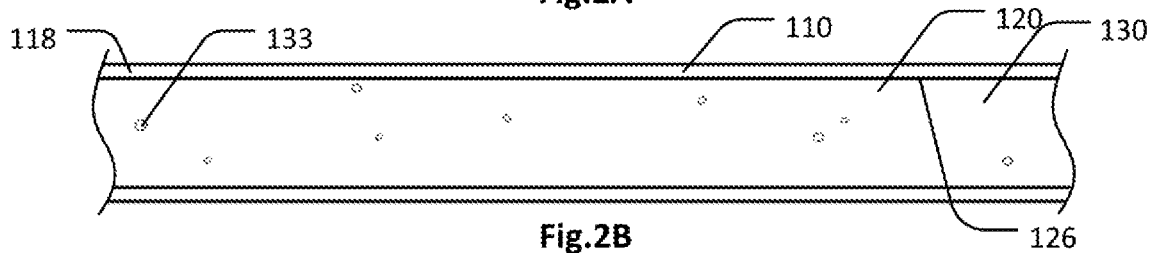


Fig. 2B

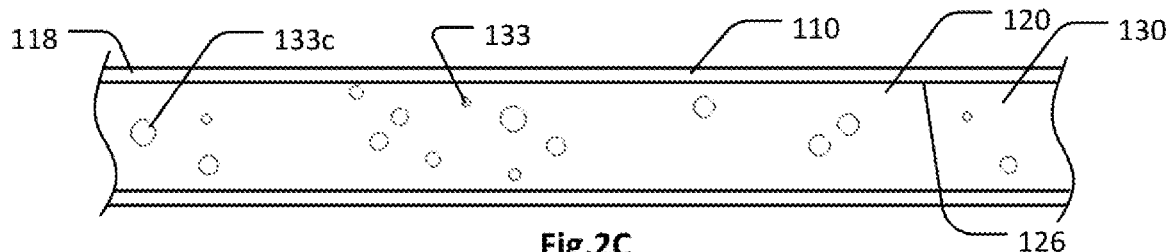


Fig. 2C

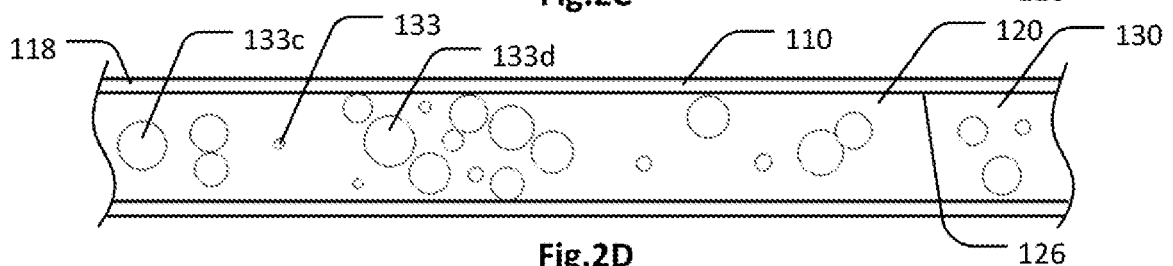


Fig. 2D

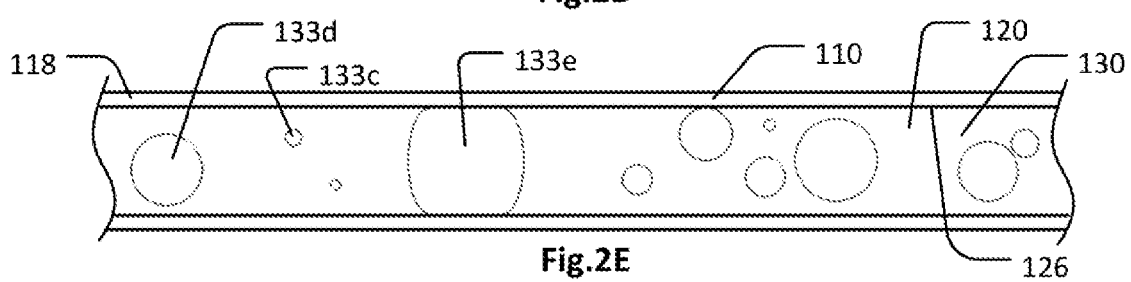


Fig. 2E

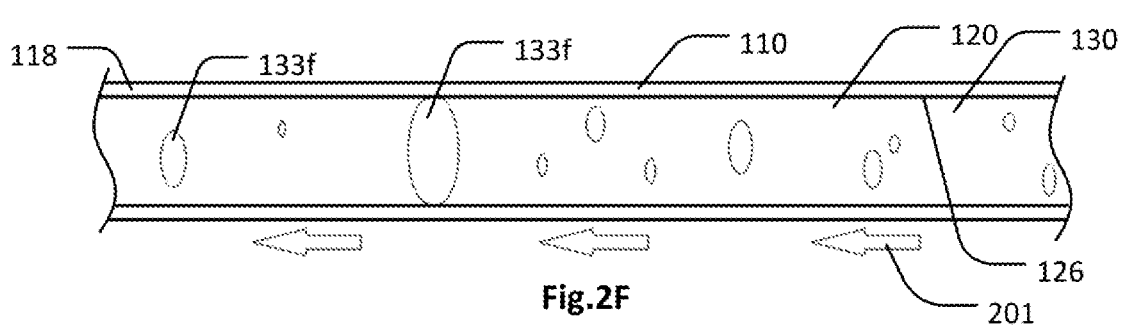
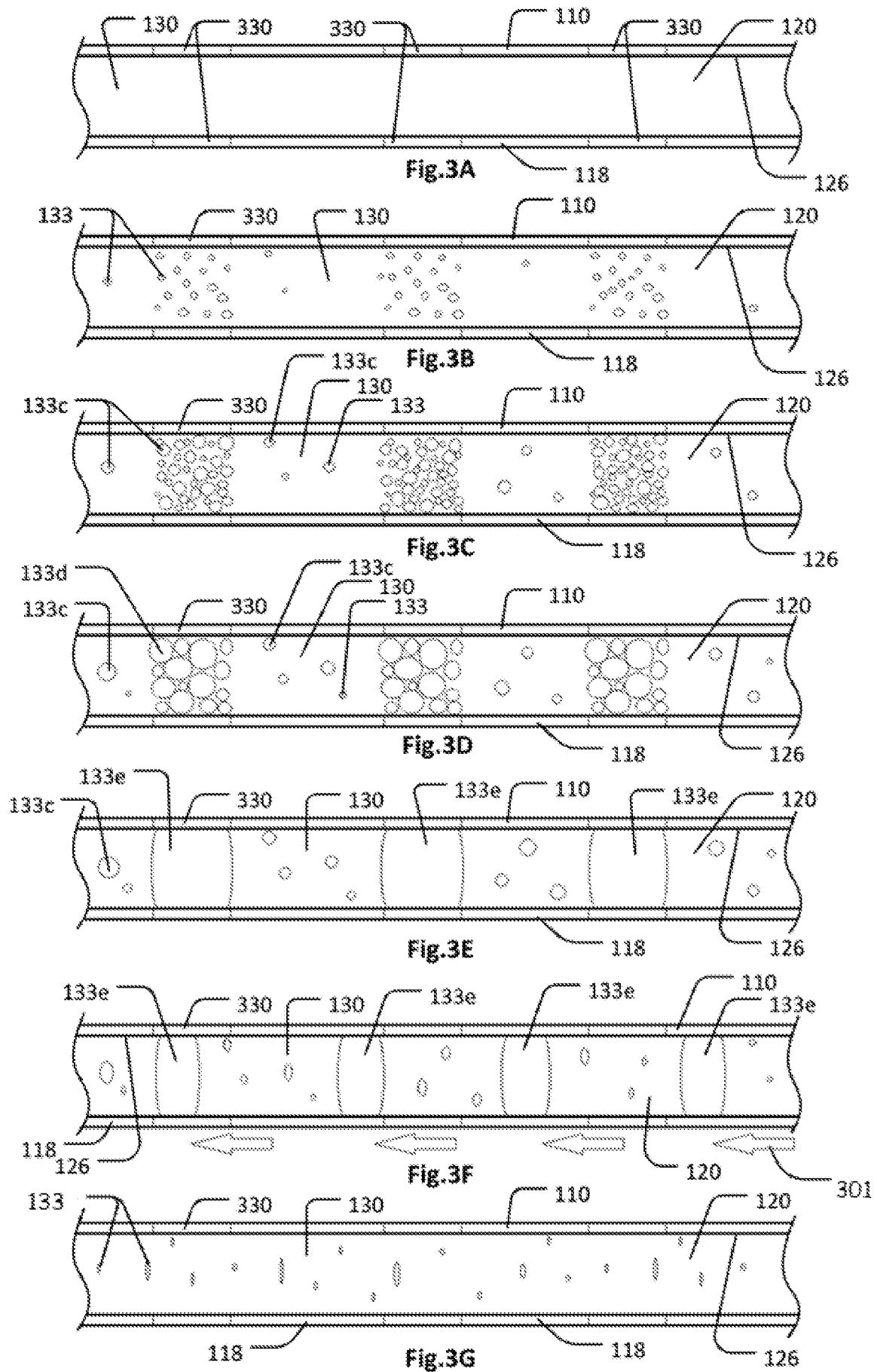
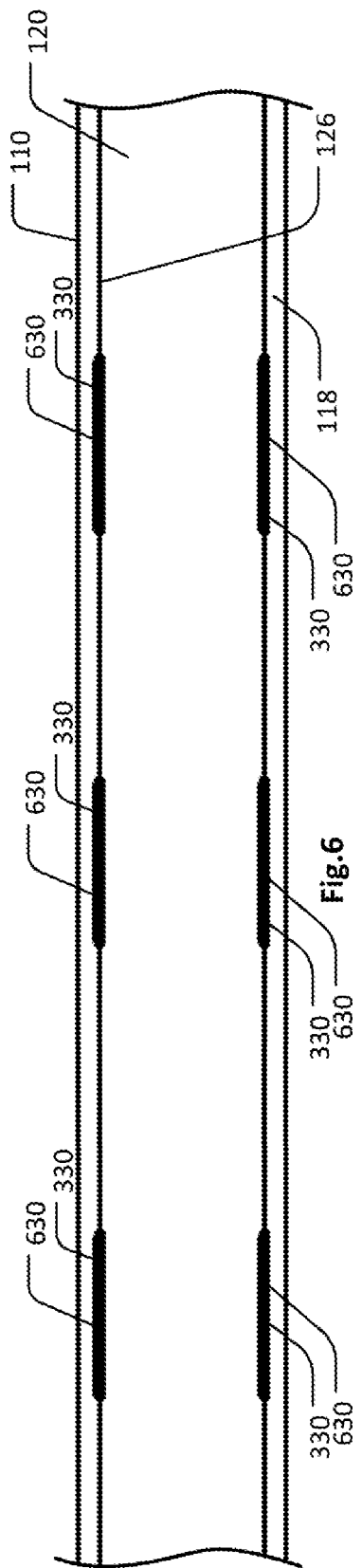
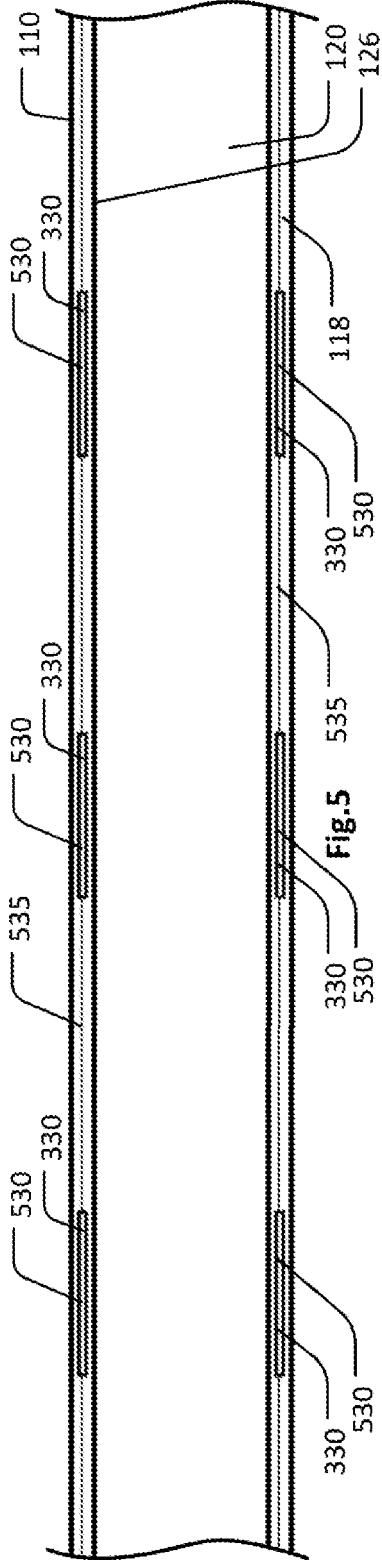
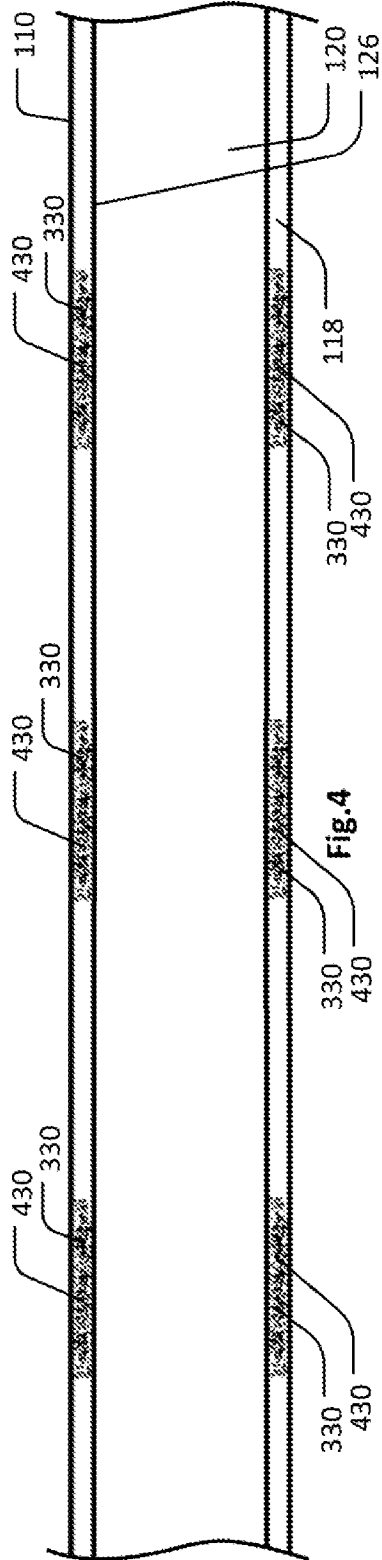


Fig. 2F





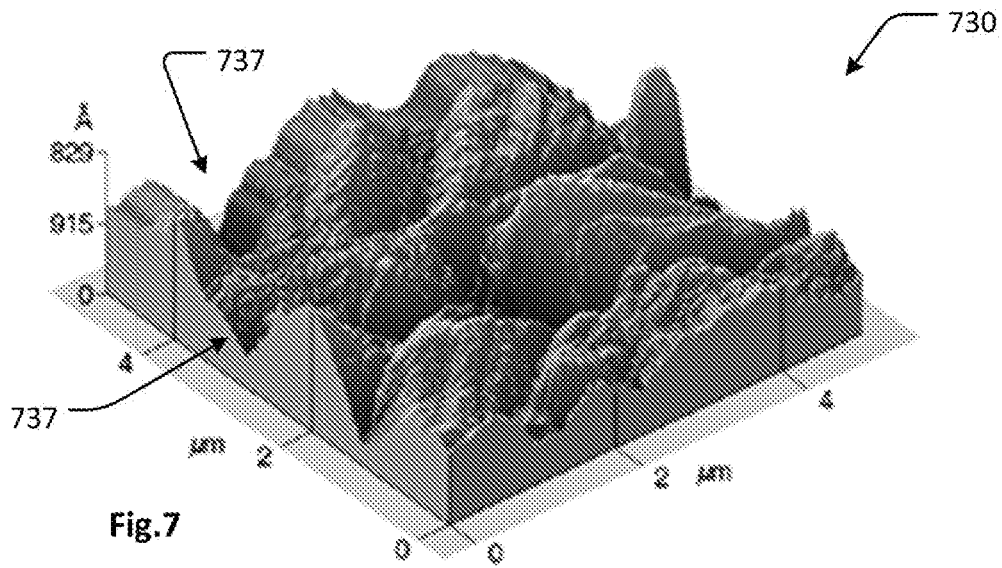


Fig.7

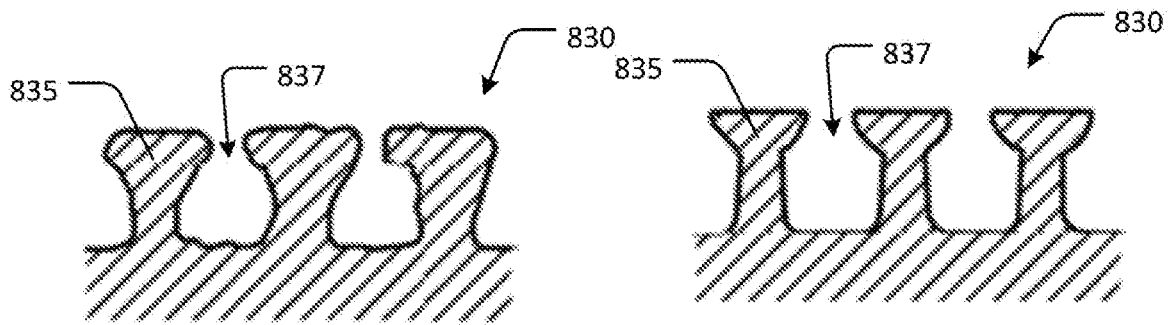


Fig.8A

Fig.8B

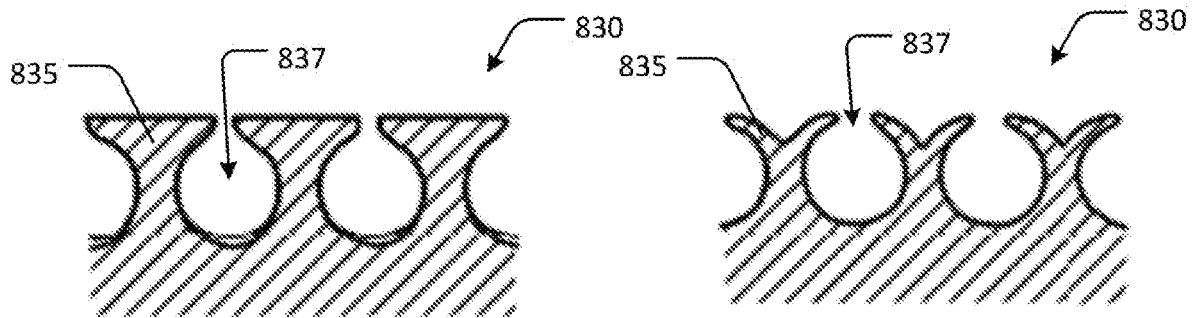


Fig.8C

Fig.8D

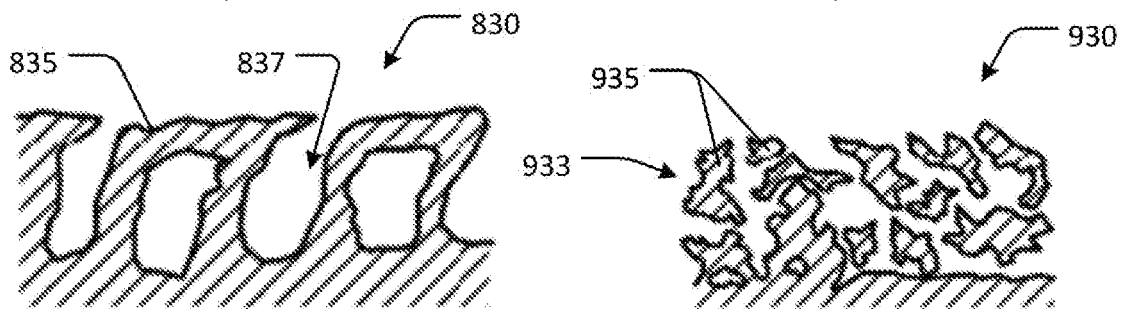


Fig.8E

Fig.9

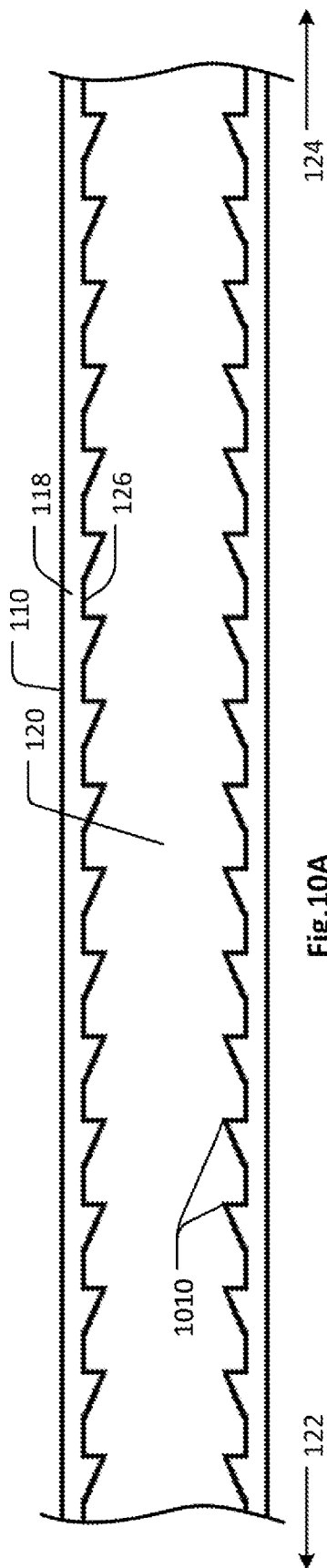


Fig. 10A

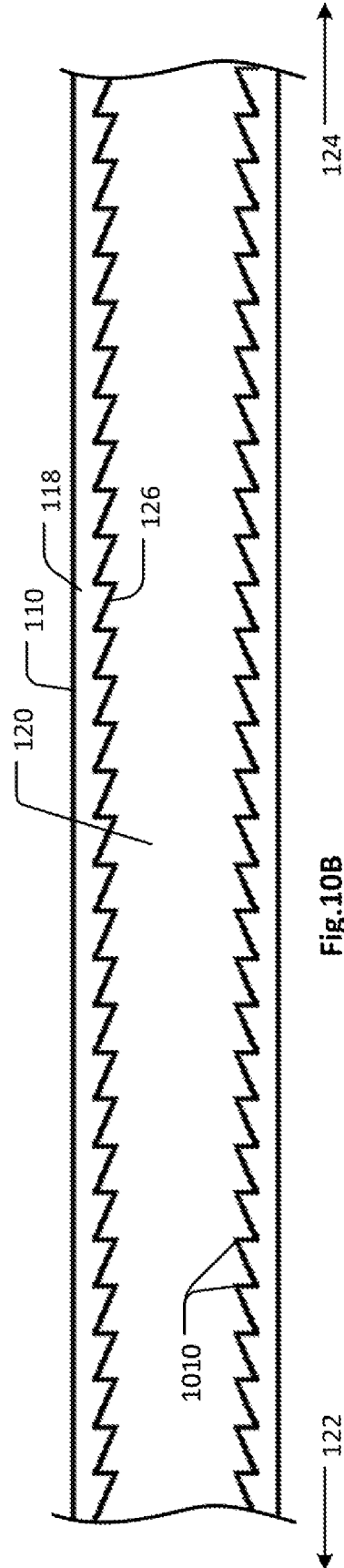


Fig. 10B

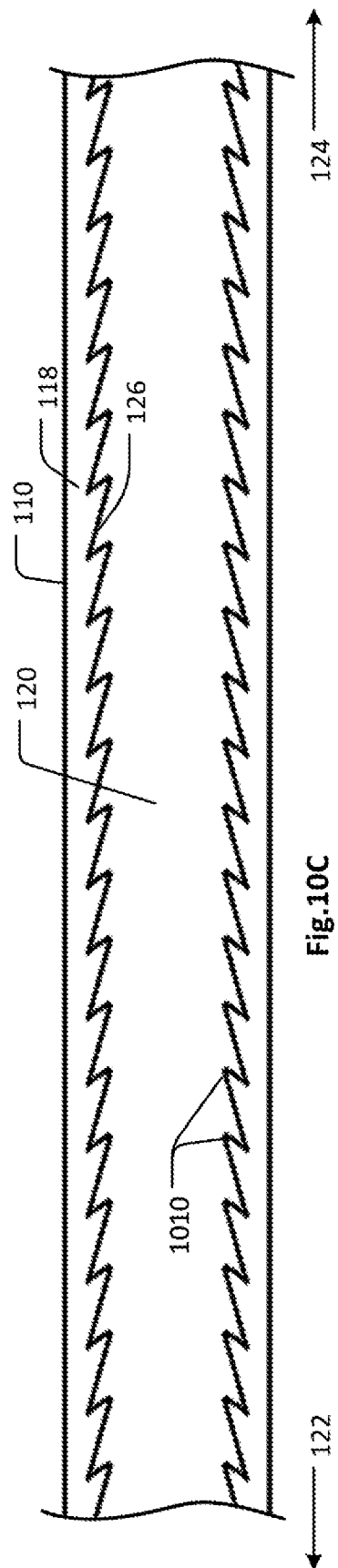


Fig. 10C

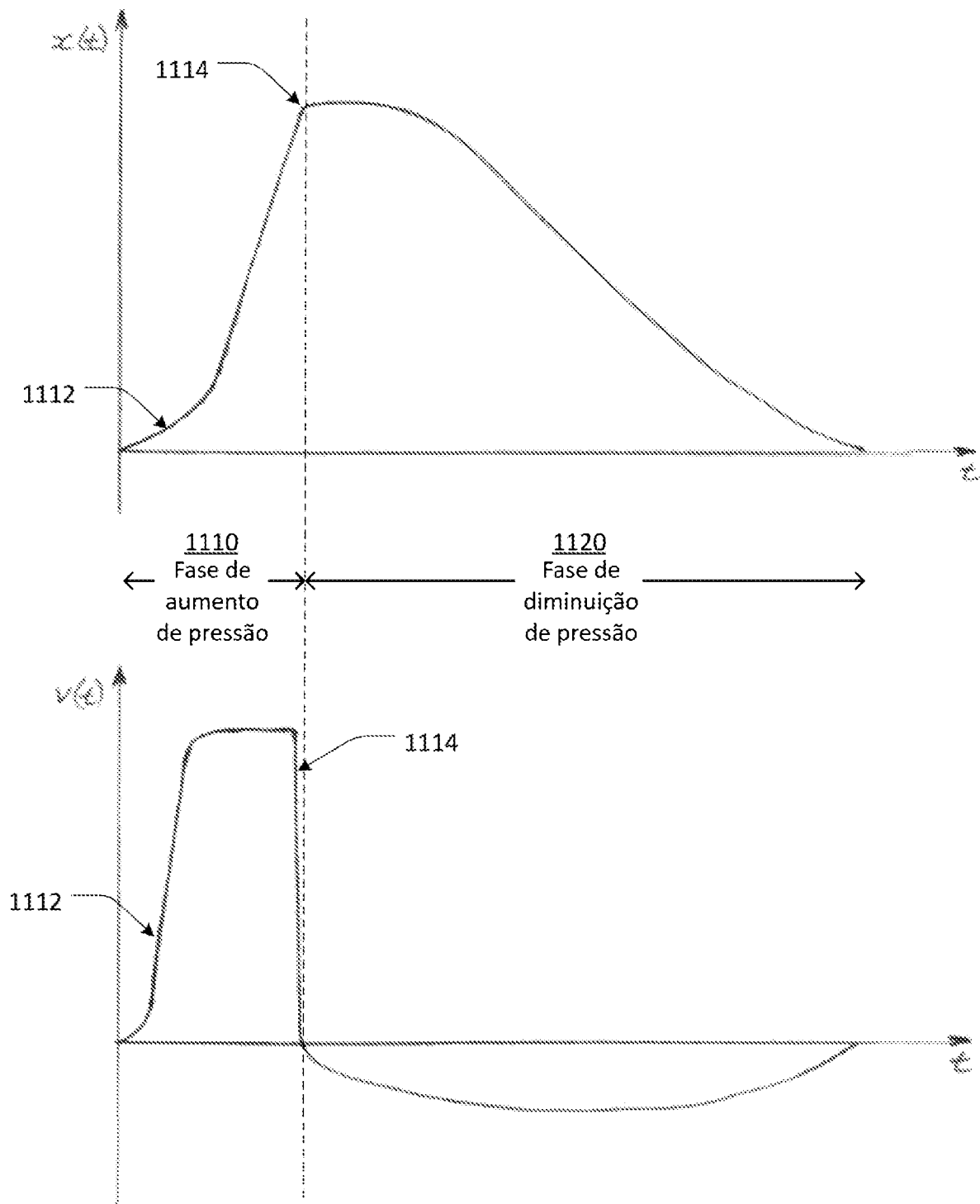
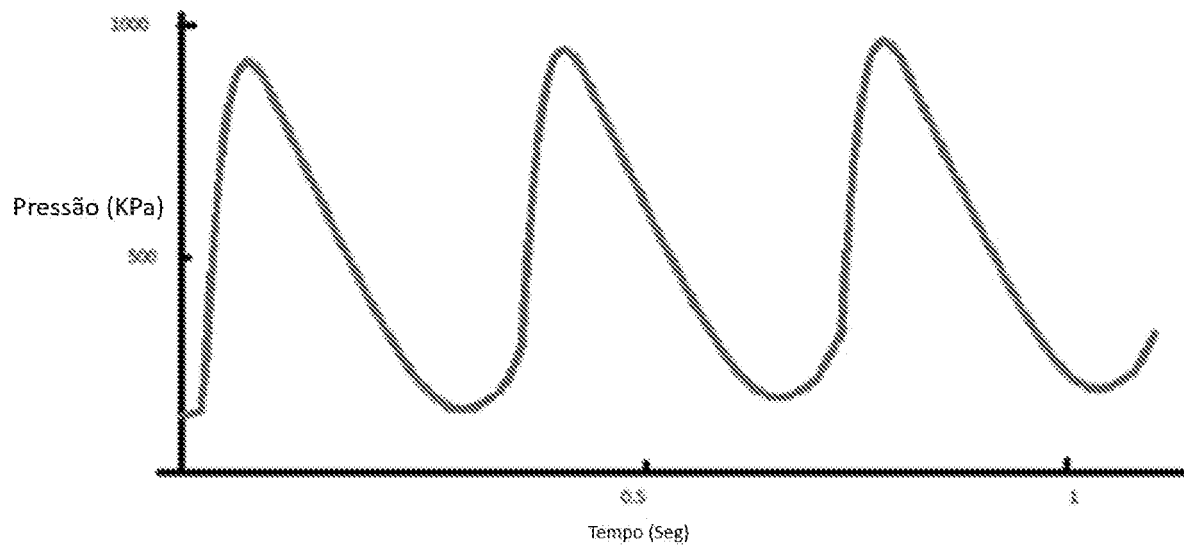
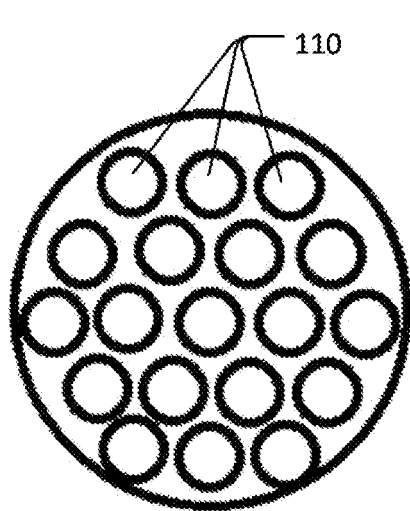
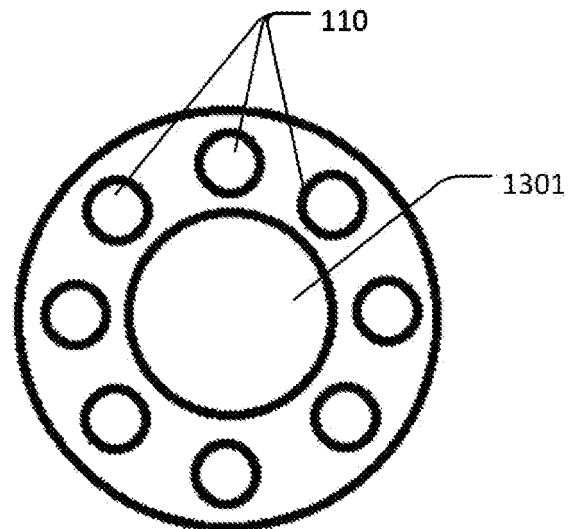
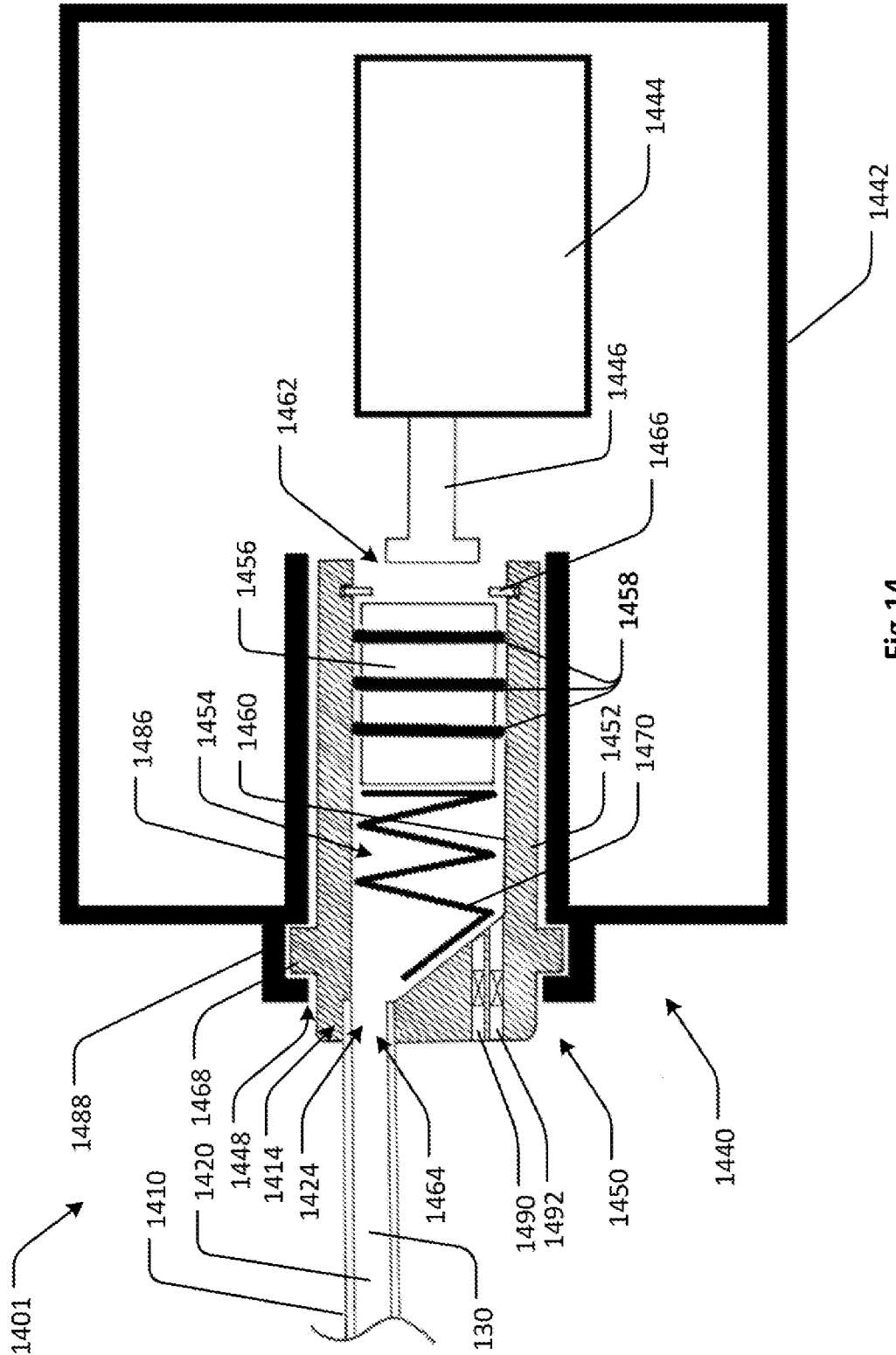


Fig.11

**Fig.12****Fig.13A****Fig.13B**

1400



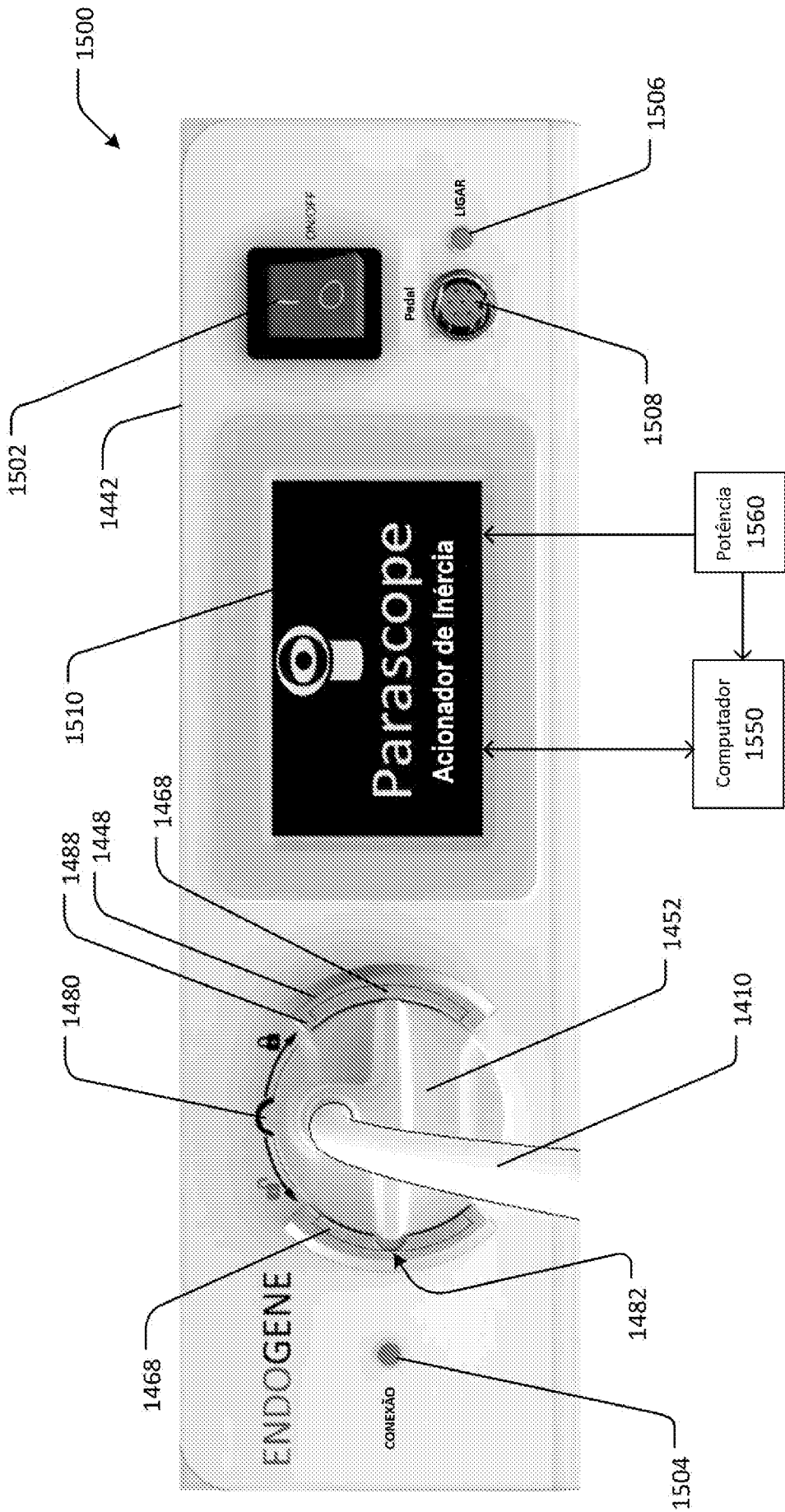


Fig. 15

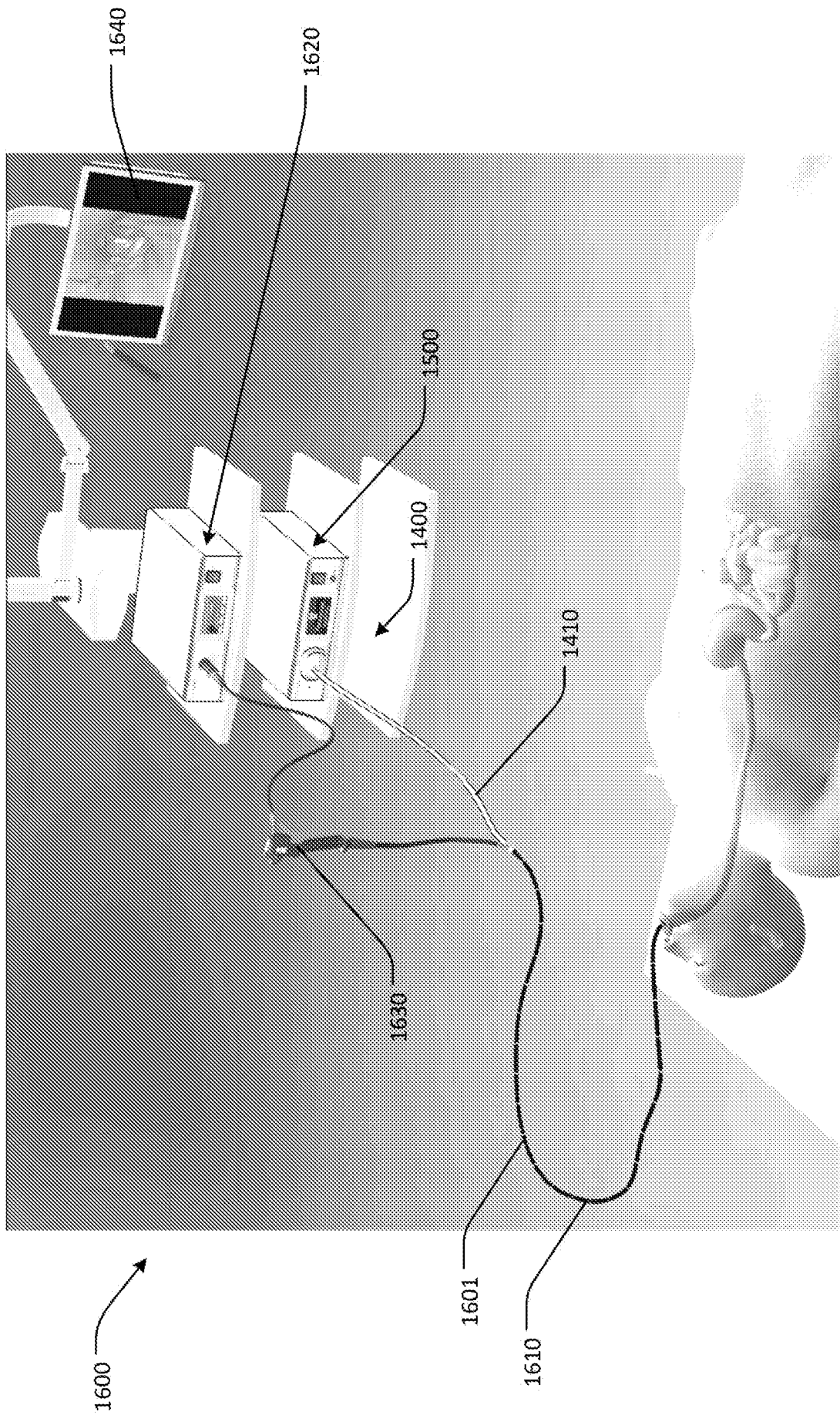


Fig.16

1400

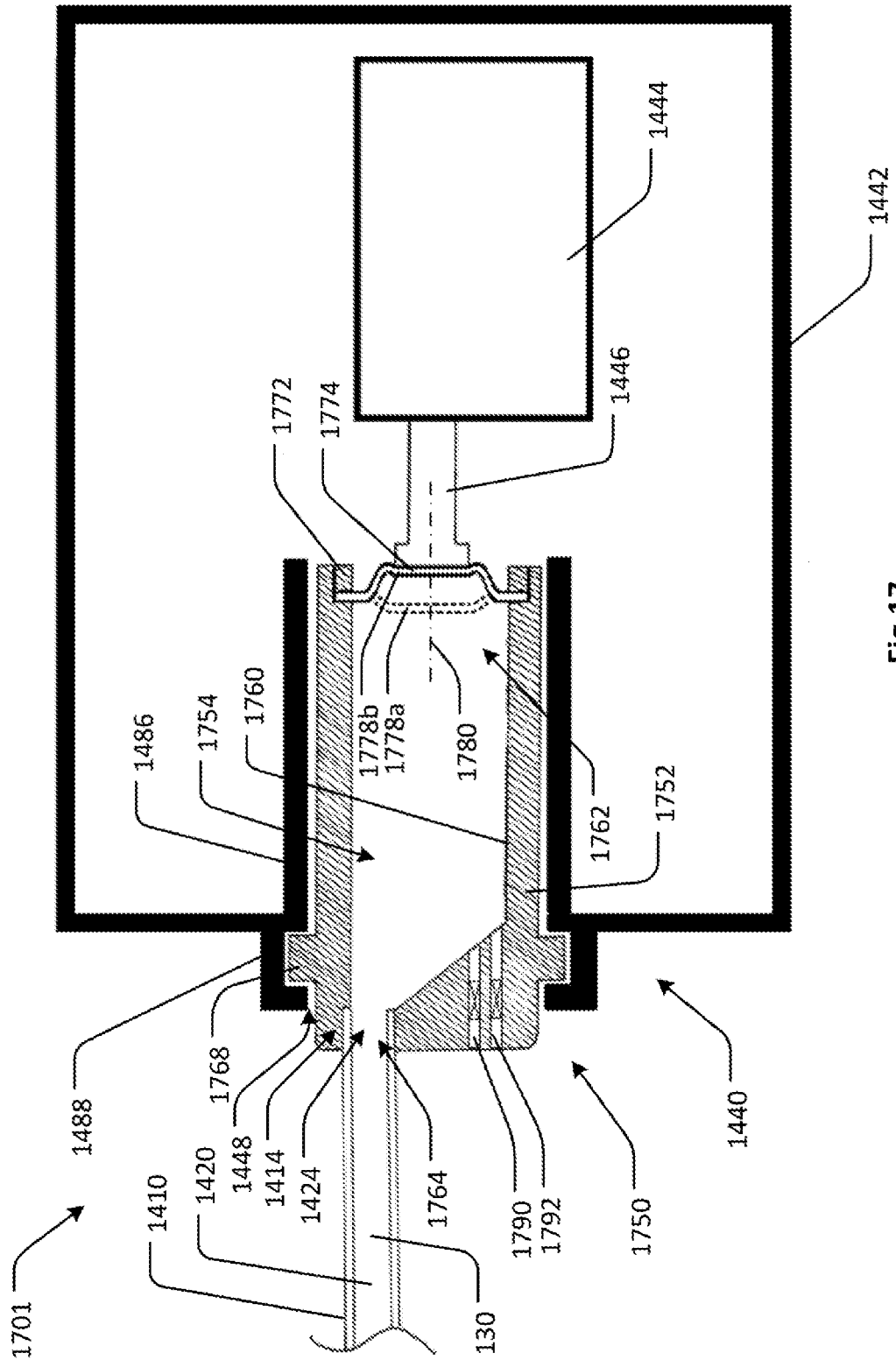


Fig. 17

RESUMO**MÉTODO E APARELHO PARA PROPULSÃO DE INSTRUMENTO**

As modalidades se referem geralmente a unidades de tubo de propulsão e dispositivos de propulsão para avançar instrumentos ao longo de passagens, e métodos de uso associados. Por exemplo, os instrumentos podem incluir ferramentas, sensores, sondas e/ou equipamento de monitoramento para uso médico (como endoscopia) ou uso industrial (como mineração). Em algumas modalidades, o dispositivo de propulsão pode compreender um tubo alongado definindo um canal configurado para acomodar um líquido e um atuador de pressão em comunicação com o canal. O atuador de pressão pode ser configurado para seletivamente ajustar uma pressão do líquido no canal para alternativamente: reduzir a pressão para induzir cavitação e formar bolhas de gás no líquido; e aumentar a pressão para colapsar algumas ou todas as bolhas de gás de volta para dentro do líquido, desse modo acelerando pelo menos parte do líquido em direção à primeira extremidade do tubo e transferindo momento para o tubo para avançar o tubo ao longo da passagem.