



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

**(11) BR 112015013247-2 B1**



**(22) Data do Depósito:** 08/11/2013

**(45) Data de Concessão:** 12/07/2022

**(54) Título:** APARELHO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA, SISTEMA DE BRAQUITERAPIA PARA APLICAR BRAQUITERAPIA A UM OBJETO VIVO, E MÉTODO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA

**(51) Int.Cl.:** A61N 5/10; A61B 8/08; G06T 5/50; G06T 7/00.

**(30) Prioridade Unionista:** 11/12/2012 US 61/735,669.

**(73) Titular(es):** KONINKLIJKE PHILIPS N.V..

**(72) Inventor(es):** SHYAM BHARAT; JOCHEN KRUECKER; EHSAN DEHGHAN MARVAST; AMIR MOHAMMAD TAHMASEBI MARAGHOOSH; SANDEEP M. DALAL; CYNTHIA MING-FU KUNG.

**(86) Pedido PCT:** PCT IB2013059989 de 08/11/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2014/091330 de 19/06/2014

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 08/06/2015

**(57) Resumo:** APARELHO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA, SISTEMA DE BRAQUITERAPIA PARA APLICAR BRAQUITERAPIA A UM OBJETO VIVO, MÉTODO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA E PROGRAMA DE COMPUTADOR AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA A invenção está relacionada a um aparelho auxiliar para assistir na realização da braquiterapia. A posição de um elemento de introdução (17), como um cateter, é rastreada particularmente pelo uso de um rastreamento eletromagnético, enquanto um grupo de sementes é introduzido em um objeto vivo (2). Isso fornece um conhecimento aproximado sobre a posição das sementes dentro do objeto. Uma imagem de ultrassom mostrando o grupo é gerada, dependendo da posição rastreada do elemento de introdução e, dessa forma, dependendo do conhecimento aproximado sobre a posição das sementes, para otimizar a visualização do ultrassom no que tange a mostrar as sementes introduzidas. Com base nessa visualização do ultrassom, a posição de uma semente do grupo é determinada, permitindo, assim, uma determinação aprimorada das posições das sementes e, de modo correspondente, uma braquiterapia aprimorada é realizada com base nas posições determinadas.

APARELHO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA, SISTEMA DE BRAQUITERAPIA PARA APLICAR BRAQUITERAPIA A UM OBJETO VIVO, E MÉTODO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA

Campo da invenção

[001] A invenção está relacionada a um aparelho auxiliar, um método auxiliar e um programa de computador auxiliar para assistir na realização de uma braquiterapia. A invenção se refere adicionalmente a um sistema de braquiterapia que compreende o aparelho auxiliar.

Antecedentes da invenção

[002] A patente US 2009/0198094 A1 revela um aparelho para determinar uma distribuição de uma terapia selecionada em um volume-alvo. O aparelho compreende um transdutor de ultrassom tridimensional para capturar dados de volume do volume-alvo e um dispositivo de computação em comunicação com o transdutor de ultrassom tridimensional para receber os dados de volume. O dispositivo de computação é adaptado adicionalmente para determinar a distribuição da terapia selecionada no volume-alvo juntamente com um conjunto de trajetórias planejadas da agulha com o uso de dados de volume, em que ao menos uma dentre as trajetórias da agulha é oblíqua em relação a ao menos uma outra dentre as trajetórias planejadas da agulha. A qualidade do imageamento por ultrassom pode ser reduzida, e, por sua vez, pode levar a uma exatidão reduzida da determinação da distribuição da terapia selecionada no volume-alvo. Se uma braquiterapia é baseada nessa distribuição determinada que

tem uma exatidão reduzida, a qualidade da braquiterapia também é reduzida.

#### Sumário da invenção

[003] É um objetivo da presente invenção fornecer um aparelho auxiliar, um método auxiliar e um programa de computador auxiliar para assistir na realização da braquiterapia, permitindo uma melhor qualidade da braquiterapia. É um objetivo adicional da presente invenção fornecer um sistema de braquiterapia para aplicar uma braquiterapia a um objeto animado, sendo que o sistema de braquiterapia compreende o aparelho auxiliar.

[004] Em um primeiro aspecto da presente invenção, um aparelho auxiliar para assistir na realização da braquiterapia é apresentado, durante a qual um grupo de sementes de braquiterapia, incluindo ao menos uma semente de braquiterapia, é introduzido em um objeto vivo com o uso de um elemento de introdução, sendo que o aparelho compreende:

- uma unidade de rastreamento para rastrear a posição do elemento de introdução durante a introdução do grupo no objeto vivo,

- uma unidade de ultrassom para gerar uma imagem de ultrassom do objeto vivo, em que a imagem de ultrassom mostra o grupo dentro do objeto vivo, em que a geração da imagem de ultrassom é controlada dependendo da posição rastreada do elemento de introdução e

- uma unidade determinando a posição da partícula (semente) para determinar a posição de uma semente de braquiterapia do grupo, dependendo da imagem de ultrassom gerada.

[005] Como a unidade de rastreamento rastreia a

posição do elemento de introdução durante a introdução do grupo dentro do objeto vivo, já se sabe aproximadamente onde o respectivo grupo de partículas (sementes) da braquiterapia foi colocado dentro do objeto vivo. Esse conhecimento aproximado sobre a posição das partículas (sementes) dentro do objeto vivo pode ser usado pela unidade de ultrassom para otimizar a imagem de ultrassom para imageamento nessa região aproximadamente conhecida do objeto vivo, permitindo, assim, um aprimoramento da visualização do ultrassom. Como a posição da semente de braquiterapia do grupo é determinada com base na imagem de ultrassom obtida pela visualização aprimorada do ultrassom, a determinação da semente de braquiterapia também pode ser realizada com exatidão aprimorada. Isso, por sua vez, permite uma qualidade aprimorada de uma braquiterapia, que tem por base a posição determinada da semente de braquiterapia.

[006] O grupo de ao menos uma semente de braquiterapia pode compreender uma ou várias sementes de braquiterapia. O objeto vivo é de preferência um ser humano ou animal. A braquiterapia é de preferência uma braquiterapia de baixa taxa de dose (LDR, low-dose rate), que é especificamente adaptada para tratar uma próstata.

[007] A unidade de rastreamento é de preferência adaptada para rastrear eletromagneticamente a posição do elemento de introdução durante a introdução do grupo para o interior do objeto vivo. Além disso, a unidade de rastreamento pode ser usada para encontrar, aproximadamente ou de maneira global, uma região-alvo com sementes introduzidas, sendo que um feixe de ultrassom pode ser, então, direcionado para essa região-alvo encontrada aproximadamente ou de maneira global.

[008] É preferencial que a unidade de ultrassom

seja adaptada para gerar uma imagem de ultrassom, antes que o grupo seja introduzido para o interior do objeto vivo, e uma imagem de ultrassom atual, depois que o grupo foi introduzido para o interior do objeto vivo, sendo que a unidade que determina a posição da semente é adaptada para alinhar as imagens de ultrassom, uma em relação à outra, para gerar uma imagem subtraída, subtraindo-se as imagens de ultrassom alinhadas uma à outra, e para determinar a posição de uma semente de braquiterapia do grupo, dependendo da imagem subtraída gerada. O alinhamento é de preferência um alinhamento deformável.

[009] A imagem de ultrassom que foi gerada antes do grupo ser introduzido dentro do objeto vivo pode ser uma imagem de ultrassom base, que foi gerada antes de qualquer semente de braquiterapia ter sido introduzida dentro do objeto vivo. Nesse caso, as posições de todas as sementes de braquiterapia, que já foram introduzidas no objeto vivo, podem ser determinadas diretamente a partir da imagem subtraída. Entretanto, se vários grupos de sementes de braquiterapia são consecutivamente introduzidos no objeto vivo com o uso do elemento de introdução, sendo que cada grupo inclui ao menos uma semente de braquiterapia, para cada grupo de sementes de braquiterapia uma imagem de ultrassom atual pode ser gerada, depois que o grupo respectivo foi introduzido no objeto vivo, e uma imagem de ultrassom anterior pode ser gerada antes que o respectivo grupo seja introduzido no objeto vivo e depois que o grupo anterior de sementes de braquiterapia foi introduzido no objeto vivo. O tipo de imageamento pode ser chamado de "imageamento incremental". Para cada grupo de sementes de braquiterapia,

uma imagem subtraída pode ser gerada subtraindo-se as respectivas imagens de ultrassom atuais e anteriores, umas das outras, sendo que a respectiva imagem subtraída pode ser usada para determinar as posições da uma ou várias sementes de braquiterapia do respectivo grupo. Como essa determinação das posições da semente de braquiterapia é realizada para cada grupo que já foi introduzido no objeto vivo, as posições de todas as sementes de braquiterapia introduzidas no objeto vivo podem ser determinadas pelo imageamento incremental.

[010] De modo geral, uma imagem de ultrassom pode compreender artefatos de imagem de cor intensa, que podem ser causados por microcalcificações no objeto vivo e que podem ser erroneamente classificados como sendo sementes de braquiterapia. Esses artefatos de imagem de cor intensa devem estar presentes nas imagens subsequentes de modo que, se essas imagens forem subtraídas umas das outras, a imagem subtraída resultante não deverá compreender esses artefatos de imagem de cor intensa. Determinando as posições das sementes de braquiterapia com base nas imagens subtraídas, a probabilidade de uma classificação errada, isto é, a determinação de uma suposta posição da semente que é de fato, por exemplo, uma posição de microcalcificação, pode portanto ser reduzida, aprimorando assim ainda mais a qualidade da determinação das posições das sementes de braquiterapia e, dessa forma, a qualidade da braquiterapia, que tem por base essas posições determinadas.

[011] É adicionalmente preferido que, no caso de vários grupos de sementes de braquiterapia serem consecutivamente introduzidos no objeto vivo com o uso do elemento de introdução, sendo que cada grupo inclui ao menos

uma semente de braquiterapia, a unidade de ultrassom seja adaptada para gerar uma imagem de ultrassom atual, depois de um grupo ter sido introduzido no objeto vivo, sendo que a unidade que determina a posição da semente é adaptada para determinar as posições das sementes de braquiterapia de grupos já introduzidos no objeto vivo, dependendo da imagem de ultrassom atual gerada, para permitir uma introdução de grupos adicionais, dependendo das posições das sementes de braquiterapia de grupos já introduzidos. Em particular, a unidade que determina a posição da semente pode ser adaptada para a) alinhar a imagem de ultrassom atual e uma imagem de ultrassom anterior, que foi capturada depois de um grupo anterior e antes do grupo atual ter sido introduzido, uma em relação à outra, b) gerar uma imagem subtraída pela subtração das imagens de ultrassom alinhadas uma à outra, c) determinar as posições das sementes de braquiterapia do grupo atual introduzido, dependendo da imagem subtraída, d) fornecer as posições das sementes de braquiterapia de grupos que foram introduzidos no objeto vivo antes do grupo atual ter sido introduzido e e) combinar as posições determinadas atuais e as posições fornecidas para determinar as posições de todos os grupos já introduzidos no objeto vivo. Isso permite considerar modificações nas posições das sementes de braquiterapia já introduzidas, que podem ser causadas por um inchaço do objeto vivo, por exemplo, da próstata, enquanto são introduzidas sementes de braquiterapia adicionais, permitindo assim uma qualidade adicionalmente aprimorada da braquiterapia.

[012] Em uma modalidade preferencial, o aparelho compreende adicionalmente uma unidade que determina a região de interesse para determinar uma região de interesse a ser

tratada dentro do objeto vivo, dependendo da imagem de ultrassom atual gerada, para permitir uma introdução de grupos adicionais que também dependem da região de interesse determinada, dependendo da imagem de ultrassom atual. A região de interesse a ser tratada dentro do objeto vivo é, por exemplo, a próstata ou uma certa região dentro da próstata, como uma região de tumor dentro da próstata. A unidade que determina a região de interesse pode também ser adaptada para determinar, isto é, segmentar, elementos adicionais do objeto vivo, como vasos, órgãos etc., com base na imagem de ultrassom atual. A região de interesse, isto é, a localização e/ou formato da região de interesse, e opcionalmente, os elementos determinados adicionalmente, podem mudar durante a introdução de vários grupos de sementes de braquiterapia. Considerando-se essa possível mudança durante a introdução de vários grupos de sementes de braquiterapia, pode-se adicionalmente otimizar a exatidão da determinação das posições das sementes de braquiterapia e, dessa forma, a qualidade da braquiterapia aplicada, dependendo de determinadas posições.

[013] O aparelho compreende adicionalmente, de preferência, a) uma unidade que fornece um plano de tratamento para fornecer um plano de tratamento que define uma disposição espacial de sementes de braquiterapia dentro do objeto vivo, sendo que o elemento de introdução é adaptado para introduzir os grupos de acordo com o plano de tratamento, e b) uma unidade de atualização do plano de tratamento para atualizar o plano de tratamento com base nas posições determinadas das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos no objeto vivo, sendo que o elemento de introdução é adaptado para introduzir grupos adicionais,



dependendo do plano de tratamento atualizado. A unidade de atualização do plano de tratamento pode ser adaptada adicionalmente para atualizar o plano de tratamento também com base na região de interesse determinada e opcionalmente nos elementos adicionais do objeto vivo, que podem ter sido determinados com base na imagem de ultrassom atual.

[014] O plano de tratamento fornecido depende, de preferência, de uma região de interesse e opcionalmente de outros elementos do objeto vivo, como vasos, órgãos etc., que são mostrados em uma imagem de ultrassom base, sendo que a região de interesse deve ser tratada pelas sementes de braquiterapia, e que a imagem de ultrassom base foi capturada antes que qualquer grupo de sementes de braquiterapia tenha sido introduzido no objeto vivo, sendo que a unidade que determina a região de interesse é adaptada para gerar uma transformação de alinhamento que alinha a imagem de ultrassom base e a imagem de ultrassom atual, uma em relação à outra, e para atualizar a região de interesse e os elementos adicionais opcionais mostrados na imagem de ultrassom base, com o uso da transformação do alinhamento, e sendo que a unidade de atualização do plano de tratamento é adaptada para atualizar o plano de tratamento com base nas posições determinadas das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos no objeto vivo, na região de interesse atualizada e opcionalmente com base também nos elementos adicionais atualizados. Portanto, não é necessariamente requerido segmentar a região de interesse e os elementos opcionais adicionais em cada imagem de ultrassom atual, que podem ser capturados durante o imageamento incremental, pois a região de interesse atual, isto é, a localização e/ou formato atuais da região de

interesse, e também dos elementos opcionais adicionais atuais, pode ser prontamente determinada aplicando-se a transformação de alinhamento à região de interesse e aos elementos opcionais adicionais inicialmente determinados na imagem de ultrassom base. Por exemplo, na imagem de ultrassom base, a região de interesse, e também as partes adicionais do objeto vivo, podem ser segmentados para determinar suas localizações e/ou formatos dentro do objeto vivo, sendo que as transformações de alinhamento podem ser aplicadas a essas segmentações para fornecer segmentações atualizadas, que podem ser usadas para atualizar o plano de tratamento.

[015] O alinhamento entre a imagem de ultrassom atual e a imagem de ultrassom base pode ser um alinhamento direto, isto é, cada imagem de ultrassom atual, que foi gerada pelo respectivo grupo, pode ser alinhada com a imagem de ultrassom base, para gerar a transformação de alinhamento do respectivo grupo. Entretanto, o alinhamento incremental também pode ser usado para obter finalmente um alinhamento entre a imagem de ultrassom base e a imagem de ultrassom atual do respectivo grupo. Isso significa que a imagem de ultrassom base pode ser alinhada com a imagem de ultrassom atual do primeiro grupo, sendo que a imagem de ultrassom atual do primeiro grupo pode ser alinhada com a imagem de ultrassom atual do segundo grupo, e a imagem de ultrassom atual do segundo grupo pode ser alinhada com a imagem de ultrassom atual do terceiro grupo etc., para ter as imagens de ultrassom atuais de cada grupo alinhadas com a imagem de ultrassom base.

[016] É adicionalmente preferencial que a unidade de ultrassom seja adaptada para usar um feixe de

ultrassom direcionável para gerar a imagem de ultrassom, sendo que o feixe de ultrassom é controlado dependendo da posição rastreada do elemento de introdução. Além disso, é preferencial que a unidade de ultrassom seja adaptada para gerar uma imagem de ultrassom composta como a imagem de ultrassom, através da captação de várias imagens de ultrassom que correspondem a diferentes direções do feixe de ultrassom e da combinação das várias imagens de ultrassom. Isso permite fornecer uma imagem de ultrassom mostrando todas as sementes de braquiterapia que já foram introduzidas no objeto vivo, mesmo que em uma certa direção do feixe de ultrassom uma ou várias sementes de braquiterapia não sejam visíveis por causa, por exemplo, de efeitos de sombreamento. Isso permite uma exatidão adicionalmente aprimorada para determinar as posições das sementes de braquiterapia dentro do objeto vivo, que, por sua vez, leva a uma qualidade adicionalmente aprimorada da braquiterapia realizada com base em determinadas posições.

[017] Em um outro aspecto da presente invenção, um sistema de braquiterapia para aplicar braquiterapia a um objeto vivo é apresentado, sendo que o sistema de braquiterapia compreende:

- um elemento de introdução para introduzir vários grupos de sementes de braquiterapia consecutivamente no objeto vivo, de acordo com o plano de tratamento e
- um aparelho auxiliar para assistir na realização da braquiterapia, conforme definido na reivindicação 1.

[018] Em um aspecto adicional da presente invenção, um método auxiliar para assistir na realização da braquiterapia é apresentado, durante a qual um grupo de sementes de braquiterapia, incluindo ao menos uma semente de

braquiterapia, é introduzido em um objeto vivo com o uso de um elemento de introdução, sendo que o método compreende:

- rastrear a posição do elemento de introdução durante a introdução do grupo no objeto vivo através de uma unidade de rastreamento,

- gerar uma imagem de ultrassom do objeto vivo através de uma unidade de ultrassom, sendo que a imagem de ultrassom mostra o grupo dentro do objeto vivo, e que a geração da imagem de ultrassom é controlada dependendo da posição rastreada do elemento de introdução e

- determinar a posição de uma semente de braquiterapia do grupo, dependendo da imagem de ultrassom gerada por uma unidade que determina a posição da semente.

[019] Em um outro aspecto da presente invenção, um programa de computador auxiliar para assistir na realização da braquiterapia é apresentado, durante a qual um grupo de sementes de braquiterapia, incluindo ao menos uma semente de braquiterapia, é introduzido em um objeto vivo com o uso de um elemento de introdução, sendo que o programa de computador auxiliar que compreende o código do programa faz com que um aparelho auxiliar, conforme definido na reivindicação 1, realize o método auxiliar, conforme definido na reivindicação 12, quando o programa de computador é executado em um computador que controla o aparelho auxiliar.

[020] Ficará entendido que o aparelho auxiliar da reivindicação 1, o sistema de braquiterapia da reivindicação 11, o método auxiliar da reivindicação 12 e o computador auxiliar da reivindicação 13 têm modalidades preferenciais similares e/ou idênticas, em particular, conforme definido nas reivindicações dependentes.

[021] Ficará entendido que uma modalidade preferencial da invenção pode também ser qualquer combinação de reivindicações dependendo ou das modalidades acima com a respectiva reivindicação independente.

[022] Esses e outros aspectos da invenção ficarão evidentes e serão elucidados com referência às modalidades descritas mais adiante neste documento.

#### Breve descrição dos desenhos

[023] Nos desenhos a seguir:

A Figura 1 mostra, de forma esquemática e exemplificativa, uma modalidade de um sistema de braquiterapia para aplicar braquiterapia a uma pessoa,

a Figura 2 mostra, de forma esquemática e exemplificativa, elementos do sistema de braquiterapia mostrados na Figura 1 mais detalhadamente,

as Figuras 3 a 6 ilustram diferentes configurações de feixes de ultrassom que podem ser usados para imageamento por ultrassom de sementes de braquiterapia dentro do objeto vivo,

a Figura 7 ilustra a geração de uma imagem subtraída, e

as Figuras 8 e 9 mostram fluxogramas exemplificativos, ilustrando modalidades de um método de braquiterapia para aplicação da braquiterapia em um objeto vivo.

#### Descrição detalhada das modalidades

[024] A Figura 1 mostra, de forma esquemática e exemplificativa, uma modalidade de um sistema de braquiterapia 14 para aplicar a braquiterapia a uma pessoa 2 deitada em um meio de suporte 3, como uma mesa. O sistema de

braquiterapia 14 é adaptado para realizar uma braquiterapia LDR, em que vários grupos de sementes de braquiterapia são introduzidos consecutivamente na pessoa 2 usando-se uma unidade de posicionamento 5. A unidade de posicionamento 5 é mostrada de forma esquemática e exemplificativa, mais detalhadamente, na Figura 2.

[025] A unidade de posicionamento 5 compreende um elemento de introdução 17 para introduzir os vários grupos de sementes de braquiterapia, consecutivamente, na pessoa 2, de acordo com um plano de tratamento. Nessa modalidade, o elemento de introdução 17 é um cateter. Os vários grupos de sementes de braquiterapia podem ser manualmente introduzidos na pessoa 2 com o uso de um molde em formato de grade 13. Na Figura 2, o número de referência 18 indica uma mão de um operador, como um médico, introduzindo as sementes de braquiterapia na pessoa 2 usando o cateter 17. A unidade de posicionamento 5 compreende adicionalmente uma sonda de ultrassom 15, que é conectada a uma unidade de controle de ultrassom 7, para gerar uma imagem de ultrassom da pessoa 2. A sonda de ultrassom 15 e o molde em formato de grade 13 são ambos fixados a um elemento de suporte 16. A sonda de ultrassom 15 é de preferência uma sonda de ultrassonografia transretal (TRUS). A sonda TRUS 15 pode ser adaptada para capturar imagens tridimensionais ao vivo. Ela pode permitir uma captura automática de um volume inteiro, sem ter que deslocar mecanicamente a sonda TRUS 15. Entretanto, a sonda de ultrassom pode também ser uma sonda de ultrassom bidimensional, em particular, uma sonda TRUS bidimensional biplana, e, nesse caso, a sonda de ultrassom é de preferência transladada e/ou girada para reconstruir uma

imagem tridimensional. Em particular, a sonda de ultrassom e a unidade de controle de ultrassom podem ser adaptadas para usar o direcionamento do feixe e a composição espacial para formar a imagem tridimensional. A seguir, diferentes técnicas de construção de imagem tridimensional serão descritas de forma exemplificativa, com mais detalhes.

[026] A Figura 3 mostra de forma esquemática e exemplificativa duas sementes de braquiterapia 20, 21 que foram introduzidas na próstata 19 da pessoa 2. A sonda de ultrassom 115 mostrada na Figura 3 tem um transdutor de tamanho relativamente grande resultando em um campo de visão 24, 26, que cobre completamente a próstata 19. A Figura 3 ilustra duas direções de captura, isto é, duas direções do feixe de ultrassom, uma primeira direção 23 com o campo de visão correspondente 24 e uma segunda direção 25 com um campo de visão correspondente 26. Nesse exemplo, a imagem tridimensional é gerada pelas imagens compostas capturadas em diferentes ângulos do feixe, isto é, capturadas em diferentes direções de captura, sem alterar a posição da sonda de ultrassom 115. Cada semente de braquiterapia 20, 21 dentro do tecido da próstata 19 é interrogada por diferentes ângulos do feixe.

[027] As Figuras 4a e 4b mostram uma outra modalidade de uma sonda de ultrassom 215, que tem um campo de visão menor 28, 30. O tamanho do transdutor e, portanto, os campos de visão 28, 30 não são suficientemente amplos para cobrir toda a região de interesse, isto é, nesta modalidade, a próstata completa 19. Entretanto, a sonda de ultrassom 215 também tem capacidades de direcionamento do feixe, e a sonda de ultrassom 215 pode ser deslocada em

relação à próstata 19, de modo que uma imagem tridimensional pode ser construída através da composição espacial de diferentes imagens capturadas de diferentes posições da sonda. Em particular, a Figura 4a ilustra a captura de uma primeira imagem com o uso de uma primeira direção de captura 27 e um campo de visão correspondente 28, em uma primeira posição da sonda de ultrassom 215 em relação à próstata 19, e a Figura 4b ilustra a captura de uma segunda imagem em uma segunda direção de captura 29 com o uso de um campo de visão correspondente 30, em uma segunda posição da sonda de ultrassom 215 em relação à próstata 19. A diferença em relação às posições da sonda de ultrassom 215 em relação à próstata 19 é indicada na Figura 4a pela seta dupla 31.

[028] Em um exemplo adicional durante a captura das imagens de ultrassom, o ângulo do feixe de luz pode ser fixado de modo que cada semente de braquiterapia é interrogada apenas por um ângulo do feixe de luz, sendo que a posição da sonda pode ser alterada para simular os efeitos do direcionamento do feixe. Os efeitos desejados do direcionamento do feixe, que podem ser obtidos direcionando-se o feixe usado para gerar a imagem de ultrassom ou simulando esse direcionamento do feixe, serão descritos a seguir, com referência às Figuras 5 e 6.

[029] A Figura 5 ilustra a captura de uma imagem de ultrassom com o uso da sonda de ultrassom 215 em uma primeira direção 33 e em uma segunda direção 36. Os campos de visão correspondentes são indicados na Figura 5 pelos números de referência 38 e 37, respectivamente. A semente de braquiterapia 32 reflete principalmente a onda de ultrassom na direção contrária da sonda de ultrassom 215, na direção



indicada pela seta 34. O eco de baixa intensidade restante será em geral ocultado pelo ruído de fundo speckle na imagem capturada e não pode ser observado adequadamente na imagem. Entretanto, com o uso do direcionamento do feixe, a direção da captura pode ser alterada para a segunda direção de captura 35 sendo substancialmente perpendicular à semente de braquiterapia 32, de modo que o feixe de ultrassom é substancialmente refletido de volta em direção à sonda de ultrassom 215 na direção indicada na Figura 5 pelo número de referência 35. Dessa forma, com o uso do direcionamento do feixe, a visibilidade de uma semente de braquiterapia em uma imagem de ultrassom pode ser aumentada.

[030] A técnica de direcionamento do feixe também pode ser usada para resolver um possível problema presente de obstrução causado por uma semente de braquiterapia 40 localizada em uma sombra de uma outra semente de braquiterapia 39, conforme mostrado de forma exemplificativa na Figura 6. A imagem de ultrassom capturada em uma primeira direção com um campo de visão correspondente 38 não mostra claramente a semente de braquiterapia 40, porque está na sombra de outra semente de braquiterapia 39. Entretanto, uma imagem de ultrassom capturada em uma segunda direção com um campo de visão correspondente 37 também mostra a semente de braquiterapia 40 atrás de outra semente de braquiterapia 39. Dessa forma, a semente de braquiterapia 40 na sombra da outra semente de braquiterapia 39 é claramente visível na imagem de ultrassom obtida com um ângulo do feixe de luz, que corresponde à direção da captura com o campo de visão 37 na Figura 6.

[031] A sonda de ultrassom pode ser adaptada

para capturar imagens de ultrassom bidimensionais ou tridimensionais, que foram capturadas com diferentes ângulos de feixe de luz, sendo que essas imagens de ultrassom bidimensionais ou tridimensionais podem ser compostas para construir uma imagem de ultrassom tridimensional. Entretanto, a sonda de ultrassom e a unidade de controle de ultrassom também podem ser adaptadas para reconstruir uma imagem de ultrassom tridimensional a partir de várias imagens de ultrassom bidimensionais. Em particular, a sonda de ultrassom e a unidade de controle de ultrassom podem ser adaptadas para construir uma imagem tridimensional pela reconstrução de cortes bidimensionais, sem direcionamento do feixe.

[032] Por exemplo, a sonda de ultrassom e a unidade de controle de ultrassom podem ser adaptadas para gerar imagens de ultrassom bidimensionais, que não são compostas, mas usadas para reconstruir uma imagem de ultrassom tridimensional. Além disso, diferentes imagens de ultrassom bidimensionais, que representam diferentes planos dentro da pessoa 2, que são posicionadas e/ou orientadas de forma diferente, podem ser geradas e reconstruídas em uma imagem de ultrassom tridimensional. Além disso, a sonda de ultrassom e a unidade de controle de ultrassom podem ser adaptadas para gerar diferentes imagens de ultrassom bidimensionais compostas, que são reconstruídas em uma imagem de ultrassom tridimensional, sendo que a imagem de ultrassom bidimensional composta pode ser composta de várias imagens de ultrassom bidimensionais geradas com diferentes ângulos de feixe. As diferentes imagens de ultrassom bidimensionais compostas podem representar diferentes planos dentro da pessoa 2, que são posicionadas e/ou orientadas de

maneira diferente, sendo que essas imagens de ultrassom bidimensionais compostas podem ser usadas para reconstruir a imagem de ultrassom tridimensional. A sonda de ultrassom pode também ser uma sonda de ultrassom tridimensional gerando diretamente uma imagem de ultrassom tridimensional com ou sem compor várias imagens de ultrassom tridimensionais. Se várias imagens de ultrassom tridimensionais são compostas, as várias imagens de ultrassom tridimensionais podem corresponder a diferentes subaberturas e/ou podem ser associadas a diferentes ângulos de direcionamento e/ou podem ser associadas a diferentes posições espaciais da sonda de ultrassom tridimensional. No último caso, a sonda de ultrassom tridimensional pode ser deslocada entre capturas de volume individuais.

[033] Novamente com referência à Figura 1, o sistema de braquiterapia 14 compreende uma exibição 12 para exibir, por exemplo, as imagens de ultrassom, determinadas posições das sementes de braquiterapia ou de outros elementos dentro da pessoa 2. Além disso, o sistema de braquiterapia 14 compreende uma unidade de rastreamento eletromagnético 6 para rastrear eletromagneticamente a posição do elemento de introdução 17 durante a introdução dos grupos de sementes de braquiterapia na pessoa 2. O cateter 17, em particular, a ponta do cateter 17, compreende um elemento eletromagnético correspondente, que pode ser rastreado pela unidade de rastreamento eletromagnético 6.

[034] A unidade de controle de ultrassom 7 é de preferência adaptada ao controle da geração da imagem de ultrassom, dependendo da posição rastreada do cateter 17. Em particular, se a sonda de ultrassom compreende um feixe de

ultrassom direcionável para gerar a imagem de ultrassom, o feixe de ultrassom é de preferência controlado dependendo da posição rastreada do cateter 17, em particular, da ponta do cateter 17. De preferência, as posições das sementes de braquiterapia atuais, que foram introduzidas na pessoa 2 com o uso do cateter 17, são estimadas a partir das posições rastreadas do cateter 17 nos respectivos momentos de deposição. Por exemplo, a posição de uma semente de braquiterapia em relação à posição do elemento eletromagnético na ponta do cateter pode ser conhecida no momento da deposição e usada junto com a posição rastreada do elemento eletromagnético para estimar a posição da semente de braquiterapia atual depositada. Essas informações, isto é, a posição aproximada da semente de braquiterapia atual depositada, podem ser usadas para controlar o direcionamento do feixe do processo de imageamento por ultrassom para localizar exatamente a semente. Áreas afastadas da posição aproximada são de preferência excluídas da consideração durante o processo de detecção da semente. Em particular, com base nas posições aproximadas das sementes de braquiterapia, que já foram introduzidas na pessoa 2, o feixe de ultrassom pode ser direcionado, de modo que os problemas descritos acima, de reflexões na direção contrária à sonda de ultrassom e das sementes de braquiterapia na sombra de outras sementes de braquiterapia, são reduzidos, particularmente, eliminados. Por exemplo, se as posições aproximadas das sementes de braquiterapia indicarem uma situação, como mostrada de forma esquemática e exemplificativa na Figura 6, o feixe de ultrassom da sonda de ultrassom pode ser direcionado de modo que ao menos uma

dentre as imagens, que são compostas para formar a imagem tridimensional, corresponda à direção de captura com o campo de visão indicado na Figura 6 pelo número de referência 37.

[035] As sementes de braquiterapia são depositadas através da inserção do cateter 17 preenchido com uma ou várias sementes de braquiterapia e opcionalmente espaçadores entre várias sementes de braquiterapia na pessoa. A uma ou várias sementes de braquiterapia devem ser dispostas em locais dentro da pessoa 2, que são definidos no plano de tratamento, o qual podem também ser considerado como um plano de dosagem. A unidade de rastreamento eletromagnético 6, junto com o elemento eletromagnético na ponta do cateter 17, pode auxiliar, nessa etapa de introdução, direcionando o usuário às localizações corretas, em que a localização atual do cateter 17 no momento da deposição da semente pode ser registrado e fornecido como uma estimativa da posição da semente para a unidade de controle do ultrassom 7 para permitir que a unidade de controle de ultrassom 7 realize um imageamento por ultrassom considerando essa posição da semente estimada.

[036] O sistema de braquiterapia 14 compreende adicionalmente uma unidade que determina a posição da semente 8 para determinar a posição de uma semente de braquiterapia, dependendo da imagem de ultrassom tridimensional gerada. De preferência, a unidade de ultrassom formada por uma das sondas de ultrassom mencionadas acima e a unidade de controle de ultrassom 7 são adaptadas para gerar uma imagem de ultrassom, antes de um grupo de sementes de braquiterapia ser introduzido na pessoa 2, e para gerar uma imagem de ultrassom atual, depois que o grupo foi introduzido na pessoa 2, sendo que a unidade que determina a posição da semente 8 é adaptada

para alinhar as imagens de ultrassom, uma em relação à outra, para gerar uma imagem subtraída, através da subtração das imagens de ultrassom alinhadas uma à outra e para determinar a posição de uma semente de braquiterapia do grupo, dependendo da imagem subtraída gerada. O alinhamento é de preferência um alinhamento deformável. As posições determinadas de uma ou várias sementes de braquiterapia do grupo são de preferência usadas para determinar as posições desejadas das sementes de braquiterapia de grupos adicionais, que podem ser introduzidos na pessoa 2.

[037] Em particular, para determinar as posições de todas as sementes de braquiterapia, que já foram introduzidas na pessoa 2, a imagem de ultrassom atual e uma imagem de ultrassom anterior, que foi capturada depois de um grupo anterior e antes do grupo atual ser introduzido na pessoa 2, são alinhadas uma em relação à outra. Dessa forma, a última imagem do volume  $I_{n-1}$ , que foi capturada antes da deposição da semente atual, é alinhada, em particular, elasticamente e/ou de forma deformável, com a imagem atual do volume  $I_n$ , que foi capturada depois da deposição de semente atual, isto é, uma transformação de alinhamento  $T_{n-1 \rightarrow n}$ , é calculada. Para realizar esse procedimento de alinhamento, algoritmos de alinhamento conhecidos podem ser usados, como o algoritmo "Demons" ou uma variante desse algoritmo, que é revelada, por exemplo, no artigo "Understanding the "Demon's Algorithm": 3D Non-rigid Registration by Gradient Descent" by X. Pennec et al., Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI'99, páginas de 597 a 606 (1999), que está incorporado neste documento a título de referência. As imagens alinhadas podem então ser subtraídas

umas das outras para gerar uma imagem subtraída. Uma imagem diferencial é, portanto, criada, na qual todos os recursos presentes em ambas as imagens são eliminados, acentuando, assim, os recursos introduzidos entre as duas capturas de imagem, isto é, acentuando, assim, as sementes de braquiterapia que foram introduzidas na pessoa 2 durante a deposição de semente atual. As posições das sementes de braquiterapia do grupo atual introduzido podem então ser determinadas na imagem subtraída utilizando-se, por exemplo, técnicas de segmentação conhecidas. Esse conceito de imageamento incremental para detectar a posição de uma semente de braquiterapia implantada mais recentemente é ilustrado na Figura 7.

[038] Na Figura 7, uma imagem anterior  $I_{n-1}$  mostra as sementes de braquiterapia 52 que já foram implantadas e as microcalcificações 51 dentro da próstata 19. Uma imagem atual  $I_n$  também mostra as sementes de braquiterapia 52 e as microcalcificações 51 visíveis na imagem anterior  $I_{n-1}$ . Entretanto, além disso, a imagem atual  $I_n$  também mostra uma semente de braquiterapia atual implantada 53. Além disso, a imagem atual  $I_n$  mostra um edema na próstata, que cresceu de um tamanho anterior indicado pela linha tracejada 50 para um tamanho atual indicado pela linha contínua 19. Nesse exemplo, a imagem anterior  $I_{n-1}$  é deformada para a imagem deformada anterior  $I'_{n-1}$  alinhando a imagem anterior  $I_{n-1}$  com a imagem atual  $I_n$ . A imagem deformada anterior  $I'_{n-1}$  é então subtraída da imagem atual  $I_n$  para gerar uma imagem subtraída  $I_{n,s}$ , na qual a semente de braquiterapia recém-introduzida 53 é visível de forma acentuada. Em um outro exemplo, alternativa ou

adicionalmente, a imagem anterior também  $I_{n-1}$  pode ser deformada durante o processo de alinhamento.

[039] Essa técnica de imageamento incremental pode evitar classificações errôneas de microcalcificações e outros artefatos de imagem de cor intensa, como sementes de braquiterapia. Qualquer artefato parecido com semente em uma imagem de ultrassom base, que foi capturada antes do cateter 17 ser inserido na pessoa 2 pela primeira vez, e que pode também ser considerada uma imagem de ultrassom inicial, é genericamente visível também em imagens de ultrassom subsequentes capturadas depois de cada inserção do cateter 17 para introduzir um grupo formado de uma ou mais sementes de braquiterapia na pessoa 2. Como cada imagem de ultrassom subsequente é alinhada de forma deformável com a imagem de ultrassom anterior e como imagens subtraídas entre sucessivas imagens são obtidas, os artefatos parecidos com semente causados, por exemplo, por microcalcificações, podem ser excluídos e não identificados erroneamente como sementes de braquiterapia inseridas. Além disso, essa técnica incremental pode, ao menos parcialmente, suprimir o ruído de fundo speckle, que adicionalmente acentuará a visibilidade de uma ou várias sementes de braquiterapia atuais implantadas. Além disso, alinhando-se de forma deformável as imagens capturadas antes e depois da última inserção do cateter para introduzir o grupo atual de uma ou várias sementes de braquiterapia, as posições das sementes de braquiterapia que foram implantadas anteriormente a uma distância maior da sonda de ultrassom podem ser preservadas, mesmo que essas sementes anteriores estejam localizadas na sombra das sementes de braquiterapia atuais recém-



implantadas, que podem ser mais proximais. Dessa forma, a técnica incremental que envolve imageamento incremental e determinação incremental das posições das sementes de braquiterapia pode também ser usada para resolver o problema de obstrução descrito acima com referência à Figura 6.

[040] Para se determinar as posições de todas as sementes de braquiterapia introduzidas na pessoa 2, a unidade que determina a posição da semente 8 é adaptada adicionalmente para fornecer as posições das sementes de braquiterapia de grupos que já foram introduzidos na pessoa 2, antes que o grupo atual tenha sido introduzido, e para combinar as posições determinadas atualmente e as posições fornecidas para determinar as posições de todos os grupos, isto é, de todas as sementes de braquiterapia de todos os grupos, já introduzidos na pessoa 2. Por exemplo, sementes recém-identificadas  $S_{n,n}$ , isto é, o enésimo grupo de novas sementes no sistema de coordenadas da imagem atual  $I_n$ , podem ser armazenadas, sendo que essas novas sementes  $S_{n,n}$  podem ser combinadas com todas as sementes anteriores  $S_{total,n-1}$  presentes na imagem anterior  $I_{n-1}$ , em que a transformação do alinhamento  $T_{n-1 \rightarrow n}$  pode ser aplicada às coordenadas das posições das sementes anteriores  $S_{total,n-1}$ , de acordo com as seguintes equações:

$$S_{Anterior,n} = T_{n-1 \rightarrow n} \times S_{Total,n-1} \quad \text{e} \quad (1)$$

$$S_{Total,n} = S_{Anterior,n} \cup S_{n,n} \quad . \quad (2)$$

[041] O sistema de braquiterapia 14 compreende adicionalmente uma unidade que determina a região de interesse 9 para determinar uma região de interesse a ser tratada dentro da pessoa 2 dependendo da imagem de ultrassom atual gerada, para permitir uma introdução de grupos adicionais que também dependem da região de interesse que foi determinada com base

na imagem de ultrassom atual. A região de interesse é, por exemplo, a próstata ou uma parte da próstata. Em particular, a região de interesse pode ser uma região de tumor dentro da próstata. Ela pode ser determinada por técnicas de segmentação conhecidas com base na imagem de ultrassom atual.

[042] O sistema de braquiterapia 14 compreende adicionalmente uma unidade que fornece um plano de tratamento 10 para fornecer um plano de tratamento definindo uma disposição espacial das sementes de braquiterapia dentro da pessoa 2, sendo que os grupos de sementes de braquiterapia são introduzidos na pessoa 2 com o uso do cateter 17 de acordo com o plano de tratamento. Uma unidade de atualização do plano de tratamento 11 atualiza o plano de tratamento com base nas posições determinadas das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos na pessoa 2, com base na região de interesse, isto é, a localização e/ou formato da região de interesse determinada com o uso da imagem de ultrassom atual e, opcionalmente, também com base na localização e/ou formato de elementos adicionais da pessoa 2, como vasos, órgãos etc., que podem também ser determinados com base na imagem de ultrassom atual.

[043] O plano de tratamento fornecido, isto é, o plano de tratamento inicial, depende, entre outros, da região de interesse, conforme mostrado na imagem de ultrassom base que foi capturada antes de qualquer grupo ser introduzido na pessoa 2. A unidade que determina a região de interesse 9 pode ser adaptada para gerar uma transformação de alinhamento que alinha a imagem de ultrassom base e a imagem de ultrassom atual, uma em relação à outra, e para atualizar a região de interesse mostrada na imagem de ultrassom base com o uso da

transformação de alinhamento, sendo que a unidade de atualização do plano de tratamento 11 pode ser adaptada para atualizar o plano de tratamento com base nas posições determinadas das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos na pessoa 2 e com base nessa região de interesse atualizada. O alinhamento pode também ser usado para atualizar a localização e formato de elementos adicionais, que são mostrados na imagem de ultrassom base e que podem ter sido usados para determinar o plano de tratamento inicial, sendo que o plano de tratamento pode ser atualizado também com base nessas informações atualizadas. O alinhamento da imagem de ultrassom atual com a imagem de ultrassom base pode ser um alinhamento direto, sendo que a imagem de ultrassom atual é diretamente alinhada com a imagem de ultrassom base ou um alinhamento indireto ou incremental, e que a imagem de ultrassom base e as imagens de ultrassom subsequente e consecutivamente capturadas são alinhadas aos pares, uma em relação à outra, formando assim uma sequência de alinhamentos incrementais definindo uma transformação de alinhamento entre a imagem de ultrassom base e a imagem de ultrassom atual. O plano de tratamento, que pode também ser considerado como plano de dosagem, define em que posições as sementes de braquiterapia devem ser colocadas. O plano de tratamento de preferência define adicionalmente a dose de radiação que a respectiva semente de braquiterapia deve aplicar à pessoa.

[044] Para determinar o plano de tratamento inicial, diferentes elementos mostrados na imagem de ultrassom base são, de preferência, segmentados. Por exemplo, a próstata ou uma parte da próstata que forma a região de interesse, o reto, a uretra, a bexiga etc., são segmentadas, sendo que o

plano de tratamento inicial é determinado de preferência de modo que uma dose-alvo prescrita é aplicada à região de interesse, enquanto a dose da radiação aplicada às outras estruturas é mantida no mínimo. O procedimento de segmentação e/ou a determinação do plano de tratamento com base nas segmentações resultantes pode ser realizado manualmente, semiautomaticamente ou completamente automaticamente.

[045] A transformação de alinhamento  $T_{n-1 \rightarrow n}$  pode também ser usada para atualizar as segmentações, em particular, os formatos e as localizações de todas as segmentações da imagem de ultrassom anterior para a imagem de ultrassom atual, sendo que, com base nessas segmentações atualizadas e todas as localizações das sementes de braquiterapia já colocadas  $S_{n \text{ total}}$ , a unidade de atualização do plano de tratamento 11 pode atualizar o plano de tratamento. De preferência, a unidade de atualização do plano de tratamento 11 leva em consideração a dose de radiação já fornecida, que é definida pelas posições das sementes de braquiterapia já colocadas e seus tempos de permanência, e as doses-alvo de radiação prescritas. As posições das sementes de braquiterapia que ainda precisam ser fornecidas para a obtenção das doses-alvo de radiação prescritas são determinadas com base na dose de radiação já fornecida. Essa atualização do plano de tratamento é de preferência realizada sempre que uma imagem de ultrassom incremental  $I_n$  tenha sido capturada. O plano de tratamento atual atualizado de forma adaptativa pode diferir ou não do plano de tratamento anterior atualizado de forma adaptativa. Se forem necessárias mais sementes de braquiterapia de acordo com o plano de tratamento mais recente, a inserção da semente de braquiterapia continua

com a  $(n+1)$ ésima iteração de inserção do cateter e imageamento. Caso contrário, o procedimento é concluído.

[046] Em vez de realizar os alinhamentos incrementais  $I_{n-1} \rightarrow I_n$ , todas as imagens de ultrassom podem ser alinhadas novamente com a imagem de ultrassom de referência  $I_0$ . Ou, para maior consistência entre todas as transformações de alinhamento, os alinhamentos podem ser realizados em conjunto e simultaneamente entre  $I_{n-1}$  e  $I_n$ , assim como entre  $I_n$  e  $I_0$ . É importante levar em consideração a imagem de ultrassom base  $I_0$  durante o procedimento de alinhamento para evitar erros que podem induzir o desenvolvimento de sucessivos alinhamentos de imagem incremental.

[047] As duas modalidades de métodos de braquiterapia a seguir serão descritas de forma exemplificativa com referência aos fluxogramas mostrados nas Figuras 8 e 9. Uma primeira modalidade ilustrada na Figura 8 usa o alinhamento de imagem incremental, e uma segunda modalidade ilustrada na Figura 9 usa um alinhamento com a imagem de ultrassom base, sendo que os alinhamentos são usados para acompanhar as segmentações, em particular, as segmentações dos órgãos, e todas as localizações de sementes, isto é, todas as posições das sementes, por todo o procedimento de inserção.

[048] Após o método de braquiterapia ter iniciado na etapa 301, na etapa 302 um volume de TRUS tridimensional inicial, isto é, a imagem de ultrassom base  $I_0$ , é capturada. Na etapa 303, as segmentações são criadas na imagem de ultrassom base  $I_0$  e um plano de tratamento inicial é determinado com base nas segmentações criadas e nas doses-

alvo de radiação prescritas. Na etapa 304, um primeiro grupo que compreende uma ou várias sementes de braquiterapia é introduzido na pessoa 2 com o uso de um elemento de introdução, como um cateter ou uma agulha, de acordo com o plano de tratamento, sendo que a posição do elemento de introdução é rastreada eletromagneticamente durante a introdução do grupo atual na pessoa, especificamente, no momento de deposição de uma ou várias sementes de braquiterapia do grupo atual. Depois que o grupo é depositado, o elemento de introdução é retirado da pessoa. Em seguida, na etapa 305 o volume de TRUS tridimensional do enésimo intraprocedimento  $I_n$  é capturado, sendo que durante a primeira iteração  $n$  é 1. Durante a captura do volume de TRUS tridimensional do intraprocedimento  $I_n$ , a geração da imagem de ultrassom é controlada dependendo da posição do elemento de introdução durante o procedimento de introdução rastreado na etapa 304. Na etapa 306, a imagem atual  $I_n$  capturada na etapa 305 é alinhada com a imagem anterior  $I_{n-1}$  para gerar uma transformação de alinhamento  $T_{n-1 \rightarrow n}$ . As imagens alinhadas são subtraídas umas das outras para criar uma enésima imagem subtraída  $I_{n,s}$ , na etapa 307. Na etapa 308, novas sementes de braquiterapia são detectadas na imagem subtraída  $I_{n,s}$ . Na etapa 309, a transformação de alinhamento  $T_{n-1 \rightarrow n}$  é usada para atualizar localizações de semente anteriores para a imagem de ultrassom atual  $I_n$ , sendo que na etapa 310, as sementes de braquiterapia novas e anteriores, isto é, as posições da semente de braquiterapia novas e anteriores, são combinadas no sistema de coordenadas da imagem de ultrassom atual  $I_n$ . Na etapa 311, a transformação de alinhamento  $T_{n-1 \rightarrow n}$  é usada para atualizar as segmentações,

e na etapa 312 a dose de radiação aplicada, isto é, a dose de radiação fornecida pelas novas sementes de braquiterapia e as sementes de braquiterapia anteriores, é calculada. Na etapa 313, o plano de tratamento para posicionar as sementes de braquiterapia restantes é atualizado. Na etapa 314, é determinado se sementes de braquiterapia adicionais precisam ser depositadas. Se esse for o caso, o método prossegue com a etapa 304. Caso contrário, o método termina na etapa 315.

[049] As etapas de 401 a 408 da segunda modalidade do método de braquiterapia ilustrado na Figura 9 são similares às etapas de 301 a 308 descritas acima com referência à Figura 8. Além disso, na etapa 409, a imagem de ultrassom atual  $I_n$  é alinhada com a imagem de ultrassom base  $I_0$  para procurar uma transformação de alinhamento  $T_{0 \rightarrow n}$ . Na etapa 410 a transformação  $T_{0 \rightarrow n}$  é usada para trazer as posições de semente anteriores de um sistema de coordenadas definido por  $I_0$  para um sistema de coordenadas definido por  $I_n$ . Na etapa 411, a transformação de alinhamento  $T_{0 \rightarrow n}$  é usada para atualizar as segmentações e na etapa 412 uma transformação da região inversa  $T_{n \rightarrow 0}$  é calculada e usada para transformar as novas posições da semente para o sistema de coordenadas de  $I_0$ . As etapas restantes de 413 a 416 correspondem às etapas 312 a 315 descritas acima com referência à Figura 8.

[050] Algumas etapas do método de braquiterapia descrito acima com referência às Figuras 8 e 9 podem ser consideradas etapas de um método auxiliar para assistir na realização de uma braquiterapia. Por exemplo, o rastreamento eletromagnético da posição do elemento de introdução nas etapas 304 e 404 e etapas de 305 a 315 e de 405 a 416, respectivamente, pode ser considerado como etapas

do método auxiliar. De modo correspondente, a unidade de rastreamento eletromagnético 6, a unidade de ultrassom 7, 15, a unidade que determina a posição da semente 8, a unidade que determina a região de interesse 9, a unidade que fornece o plano de tratamento 10, que pode ser apenas uma unidade de armazenamento, que armazena um plano de tratamento inicial já determinado e as segmentações iniciais e que fornece o plano de tratamento armazenado e as segmentações, e a unidade de atualização do plano de tratamento 11, podem ser consideradas como formadoras de um aparelho auxiliar 1 para assistir na realização de uma braquiterapia.

[051] Atualizando-se as segmentações, um inchaço do objeto, no qual o elemento de introdução é inserido, em particular, de uma próstata, também pode ser considerado durante a inserção das sementes de braquiterapia restantes. Em particular, o volume da próstata em geral aumenta durante o procedimento do tratamento, como resultado do trauma causado pela inserção do elemento de introdução. O alinhamento deformável das imagens capturadas ao longo do tempo permite ao sistema de braquiterapia medir o inchaço da próstata e adaptar o plano de tratamento para compensar o volume aumentado da próstata. O alinhamento deformável pode, portanto, também ser usado para detectar e medir o edema.

[052] A braquiterapia LDR pode ser usada para tratar o câncer de próstata em estágios iniciais e compreende uma colocação permanente de sementes de braquiterapia radioativas dentro da próstata para matar as células cancerosas através de radiação. As posições dessas sementes de braquiterapia são planejadas precisamente antes da cirurgia



para assegurar uma cobertura suficiente da glândula-alvo, enquanto resguarda os órgãos em risco, como a uretra e o reto. Uma colocação precisa das sementes de braquiterapia leva a um melhor resultado do tratamento e menor toxicidade. Entretanto, em sistemas de braquiterapia conhecidos, desvios do plano de modo geral estão presentes devido a problemas, como movimento e deformação da próstata causados pela inserção da agulha ou cateter, edema na próstata, flexão da agulha ou cateter etc. O inchaço da próstata causado pelo trauma da inserção da agulha ou cateter é uma grande fonte de erro, pois o aumento da próstata não é levado em consideração no plano de tratamento inicial.

[053] O sistema de braquiterapia descrito acima com referência a, por exemplo, Figura 1, fornece portanto, de preferência, uma dosimetria dinâmica e técnica de planejamento, que compreendem uma localização precisa e em tempo real de sementes de braquiterapia já implantadas e uma modificação das posições planejadas e do número de sementes de braquiterapia restantes, para cobrir as regiões não radiadas suficientemente e evitar o excesso de radiação sobre os órgãos em risco. O sistema de braquiterapia é particularmente adaptado para evitar obstáculos na detecção de sementes com o uso de ultrassom: a) a criação de uma sombra na imagem de ultrassom por sementes altamente ecogênicas que pode obstruir outras sementes localizadas na área de sombra, b) a dispersão de uma onda de ultrassom que chega através de uma semente na direção contrária da sonda de ultrassom de modo que a semente pareça menos intensa e seja distinguível do ruído de fundo e c) artefatos de imagem parecidos com semente causados, por exemplo, por microcalcificações na próstata. Para evitar esses

obstáculos, o sistema de braquiterapia é adaptado de preferência para realizar o imageamento incremental, que é combinado com o direcionamento de feixe e o alinhamento deformável elástico. Como as sementes de braquiterapia são implantadas sequencialmente, a dosimetria em tempo real e o planejamento podem permitir que o médico modifique as posições e o número de sementes de braquiterapia restantes, intraoperacionalmente, para compensar os possíveis erros.

[054] O imageamento incremental é de preferência usado para identificar as posições das sementes de braquiterapia recém-implantadas, já que as sementes de braquiterapia são implantadas sequencialmente. O sistema de braquiterapia pode ser adaptado para obter uma imagem tridimensional, por exemplo, da próstata antes e depois da deposição de cada semente de braquiterapia, ou antes e depois da deposição de todas as sementes de braquiterapia, dentro de uma agulha ou cateter. Um grupo de sementes de braquiterapia pode ser definido por uma única semente de braquiterapia apenas ou por várias sementes de braquiterapia, sendo que as várias sementes de braquiterapia podem ser sementes de braquiterapia dentro de uma agulha ou cateter. A imagem tridimensional obtida antes e depois da respectiva deposição da semente de braquiterapia pode ser produzida pela combinação espacial de várias imagens bidimensionais ou tridimensionais capturadas em diferentes ângulos de feixe.

[055] O rastreamento eletromagnético do elemento de introdução, em particular, da ponta do elemento de introdução, no momento da deposição da respectiva semente de braquiterapia, leva a uma posição estimada da semente de

braquiterapia. A posição estimada pode ser usada para reduzir a área de pesquisa, na identificação da semente de braquiterapia na imagem subtraída, conforme descrito acima com referência, por exemplo, à Figura 7.

[056] Embora nas modalidades descritas acima a braquiterapia seja aplicada principalmente na próstata, a braquiterapia também pode ser aplicada a outras partes, em particular, a outros órgãos, de um ser humano ou animal.

[057] Embora nas modalidades descritas acima o rastreamento seja realizado com o uso de rastreamento eletromagnético, a unidade de rastreamento pode também ser adaptada para usar uma outra técnica de rastreamento para rastrear a posição do elemento de introdução, como rastreamento por sensor em forma de fibra óptica.

[058] Outras variações das modalidades apresentadas podem ser entendidas e realizadas pelos versados na técnica na prática de uma invenção reivindicada a partir de um grupo de desenhos, da revelação e das reivindicações anexas.

[059] Nas reivindicações, a palavra "que compreende" não exclui outros elementos ou etapas, e o artigo indefinido "um" ou "uma" não exclui uma pluralidade.

[060] Uma única unidade ou dispositivo pode executar as funções de vários itens mencionados novamente nas reivindicações. O simples fato de que certas medidas são mencionadas novamente em reivindicações dependentes mutuamente diferentes não indica que uma combinação dessas medidas não possa ser usada em seu benefício.

[061] Os procedimentos, como a determinação de uma transformação de alinhamento, os procedimentos de

segmentação, os procedimentos de atualização etc., realizados por uma ou várias unidades ou dispositivos podem ser realizados por qualquer outro número de unidades ou dispositivos. Por exemplo, as etapas de 306 a 313 e de 406 a 414 podem ser realizadas por uma única unidade ou por qualquer outro número de unidades diferentes. Os procedimentos e/ou o controle do aparelho auxiliar de acordo com o método auxiliar e/ou o controle do sistema de braquiterapia de acordo com o método de braquiterapia podem ser implementados como métodos de código de programação de um programa de computador e/ou como hardware dedicado.

[062] Um programa de computador pode ser armazenado e/ou distribuído em um meio adequado, como um meio de armazenamento óptico ou um meio em estado sólido fornecidos juntos, com ou como parte de outro hardware, mas pode também ser distribuído de outras formas, como através da Internet ou outro sistema de telecomunicação com fio ou sem fio.

[063] Qualquer sinal de referência nas reivindicações não deve ser interpretado como limitador do escopo.

[064] A invenção está relacionada a um aparelho auxiliar para assistir na realização da braquiterapia. A posição de um elemento de introdução, como um cateter, é rastreada particularmente pelo uso de um rastreamento eletromagnético, enquanto um grupo de sementes é introduzido em um objeto vivo. Isso fornece um conhecimento aproximado sobre a posição das sementes dentro do objeto. Uma imagem de ultrassom mostrando o grupo é gerada, dependendo da posição rastreada do elemento de introdução e, dessa forma,

dependendo do conhecimento aproximado sobre a posição das sementes, para otimizar a visualização do ultrassom no que tange a mostrar as sementes introduzidas. Com base nessa visualização do ultrassom, a posição de uma semente do grupo é determinada, permitindo, assim, uma determinação aprimorada das posições das sementes e, de modo correspondente, de uma braquiterapia aprimorada realizada com base nas posições determinadas.

### REIVINDICAÇÕES

1. APARELHO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA, durante a qual um grupo de sementes de braquiterapia, incluindo ao menos uma semente de braquiterapia (24), é introduzido em um objeto vivo (2) com o uso de um elemento de introdução (17), sendo o aparelho (1) caracterizado por compreender:

- uma unidade de rastreamento (6) para rastrear a posição do elemento de introdução (17) durante a introdução do grupo no objeto vivo (2),

- uma unidade de ultrassom (7, 15) para gerar uma imagem de ultrassom do objeto vivo (2), sendo que a imagem de ultrassom mostra o grupo dentro do objeto vivo (2), e que a geração da imagem de ultrassom é controlada dependendo da posição rastreada do elemento de introdução (17) e

- uma unidade que determina a posição da semente (8) para determinar a posição de uma semente de braquiterapia (24) do grupo, dependendo da imagem de ultrassom gerada.

2. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela unidade de ultrassom (7, 15) ser adaptada para gerar uma imagem de ultrassom, antes que o grupo seja introduzido no objeto vivo (2), e uma imagem de ultrassom atual, depois que o grupo foi introduzido no objeto vivo (2), sendo que a unidade que determina a posição da semente (8) é adaptada para alinhar as imagens de ultrassom uma em relação à outra, para gerar uma imagem subtraída, subtraindo-se as imagens de ultrassom alinhadas uma à outra, e para determinar a posição de uma semente de braquiterapia (24) do grupo, dependendo da imagem subtraída gerada.

3. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação

1, caracterizado por, no caso de vários grupos de sementes de braquiterapia serem consecutivamente introduzidos no objeto vivo (2) com o uso do elemento de introdução (17), em que cada grupo inclui ao menos uma semente de braquiterapia, a unidade de ultrassom (7, 15) ser adaptada para gerar uma imagem de ultrassom atual, depois de um grupo ter sido introduzido no objeto vivo (2), sendo que a unidade que determina a posição da semente (8) é adaptada para determinar as posições das sementes de braquiterapia de grupos já introduzidos no objeto vivo (2) dependendo da imagem de ultrassom atual gerada, para permitir uma introdução de grupos adicionais, dependendo das posições das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos.

4. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela unidade que determina a posição da semente (8) ser adaptada para:

- alinhar a imagem de ultrassom atual e uma imagem de ultrassom anterior, que foram capturadas depois de um grupo anterior e antes do grupo atual ser introduzido, uma em relação à outra,
- gerar uma imagem subtraída, subtraindo-se as imagens de ultrassom alinhadas uma à outra,
- determinar as posições das sementes de braquiterapia do grupo atual introduzido, dependendo da imagem subtraída,
- fornecer as posições das sementes de braquiterapia dos grupos que foram introduzidos no objeto vivo (2) antes do grupo atual ter sido introduzido,
- combinar as posições atuais determinadas e as posições fornecidas para determinar as posições de todos os

grupos já introduzidos no objeto vivo (2).

5. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por compreender adicionalmente uma unidade que determina uma região de interesse (9) para determinar uma região de interesse a ser tratada dentro do objeto vivo (2) dependendo da imagem de ultrassom atual gerada, para permitir uma introdução de grupos adicionais que também dependem da região de interesse determinada, dependendo da imagem de ultrassom atual.

6. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por compreender adicionalmente:

- uma unidade que fornece plano de tratamento (10) para fornecer um plano de tratamento definindo uma disposição espacial das sementes de braquiterapia dentro do objeto vivo (2), sendo que o elemento de introdução (17) é adaptado para introduzir os grupos de acordo com o plano de tratamento,

- uma unidade de atualização do plano de tratamento (11) para atualizar o plano de tratamento com base nas posições determinadas das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos no objeto vivo (2), sendo que o elemento de introdução (17) é adaptado para introduzir grupos adicionais, dependendo do plano de tratamento atualizado.

7. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por compreender uma unidade que determina uma região de interesse (9) para determinar uma região de interesse a ser tratada dentro do objeto vivo (2) dependendo da imagem de ultrassom atual gerada, sendo que a unidade de atualização do plano de tratamento (11) é adaptada para atualizar o plano de tratamento com base na região de interesse determinada.



8. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo plano de tratamento fornecido depender de uma região de interesse, que é mostrada em uma imagem de ultrassom base, e que deve ser tratada pelas sementes de braquiterapia, sendo que a imagem de ultrassom base foi capturada antes de qualquer grupo de braquiterapia ter sido introduzido no objeto vivo (2), e que a unidade que determina a região de interesse (9) é adaptada para gerar uma transformação de alinhamento que alinha a imagem de ultrassom base e a imagem de ultrassom atual, uma em relação à outra, e para atualizar a região de interesse mostrada na imagem de ultrassom base com o uso da transformação do alinhamento, sendo que a unidade de atualização do plano de tratamento (11) é adaptada para atualizar o plano de tratamento com base nas posições determinadas das sementes de braquiterapia dos grupos já introduzidos no objeto vivo (2) e com base na região de interesse atualizada.

9. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela unidade de ultrassom (7, 15) ser adaptada para usar um feixe de ultrassom direcionável para gerar a imagem de ultrassom, sendo que o feixe de ultrassom é controlado, dependendo da posição rastreada do elemento de introdução (17).

10. APARELHO AUXILIAR, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela unidade de ultrassom (7, 15) ser adaptada para gerar uma imagem de ultrassom composta como imagem de ultrassom através da captura de várias imagens de ultrassom que correspondem a diferentes direções de feixe de ultrassom e da combinação das várias imagens de ultrassom.

11. SISTEMA DE BRAQUITERAPIA PARA APLICAR

BRAQUITERAPIA A UM OBJETO VIVO (2), caracterizado por compreender:

- um elemento de introdução (17) para introduzir vários grupos de sementes de braquiterapia, consecutivamente, no objeto vivo (2) de acordo com o plano de tratamento e
- um aparelho auxiliar para assistir na realização da braquiterapia conforme definido na reivindicação 1.

12. MÉTODO AUXILIAR PARA ASSISTIR NA REALIZAÇÃO DA BRAQUITERAPIA, durante a qual um grupo de sementes de braquiterapia, incluindo ao menos uma semente de braquiterapia (24), é introduzido em um objeto vivo (2) com o uso de um elemento de introdução (17), caracterizado por compreender:

- rastrear a posição do elemento de introdução (17), durante a introdução do grupo no objeto vivo (2), através uma unidade de rastreamento (6),
- gerar uma imagem de ultrassom do objeto vivo (2) através de uma unidade de ultrassom (7, 15) sendo que a imagem de ultrassom mostra o grupo dentro do objeto vivo (2), e que a geração da imagem de ultrassom é controlada, dependendo da posição rastreada do elemento de introdução (17) e
- determinar a posição de uma semente de braquiterapia (24) do grupo, dependendo da imagem de ultrassom gerada por uma unidade de determinação da posição da semente (8).

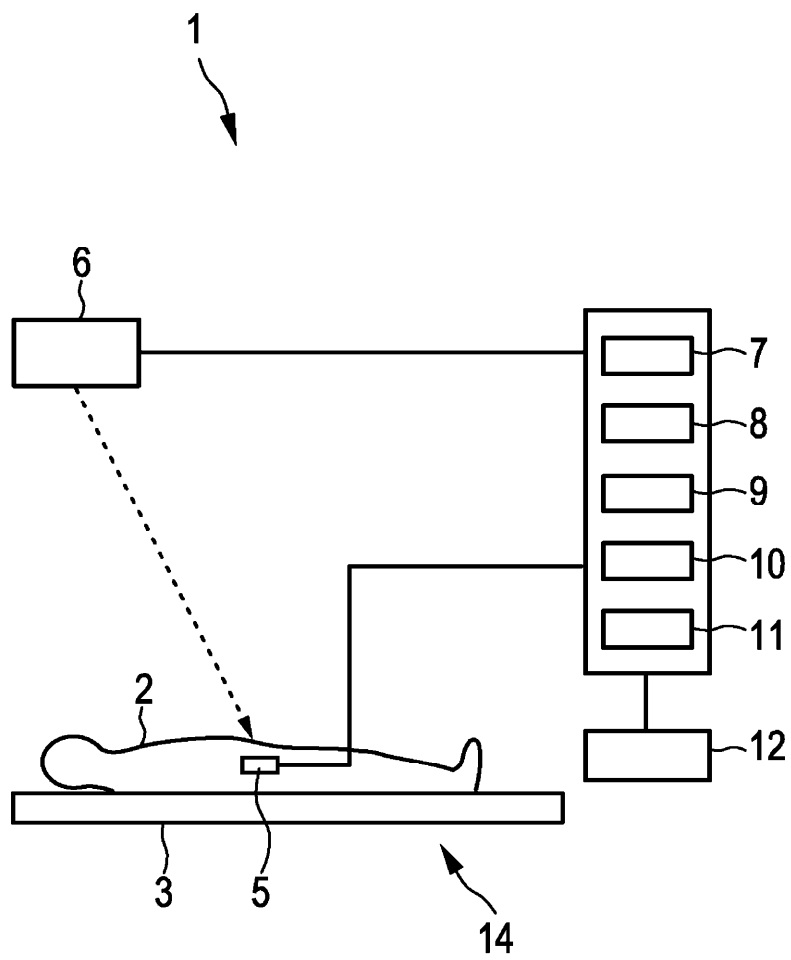


FIG. 1

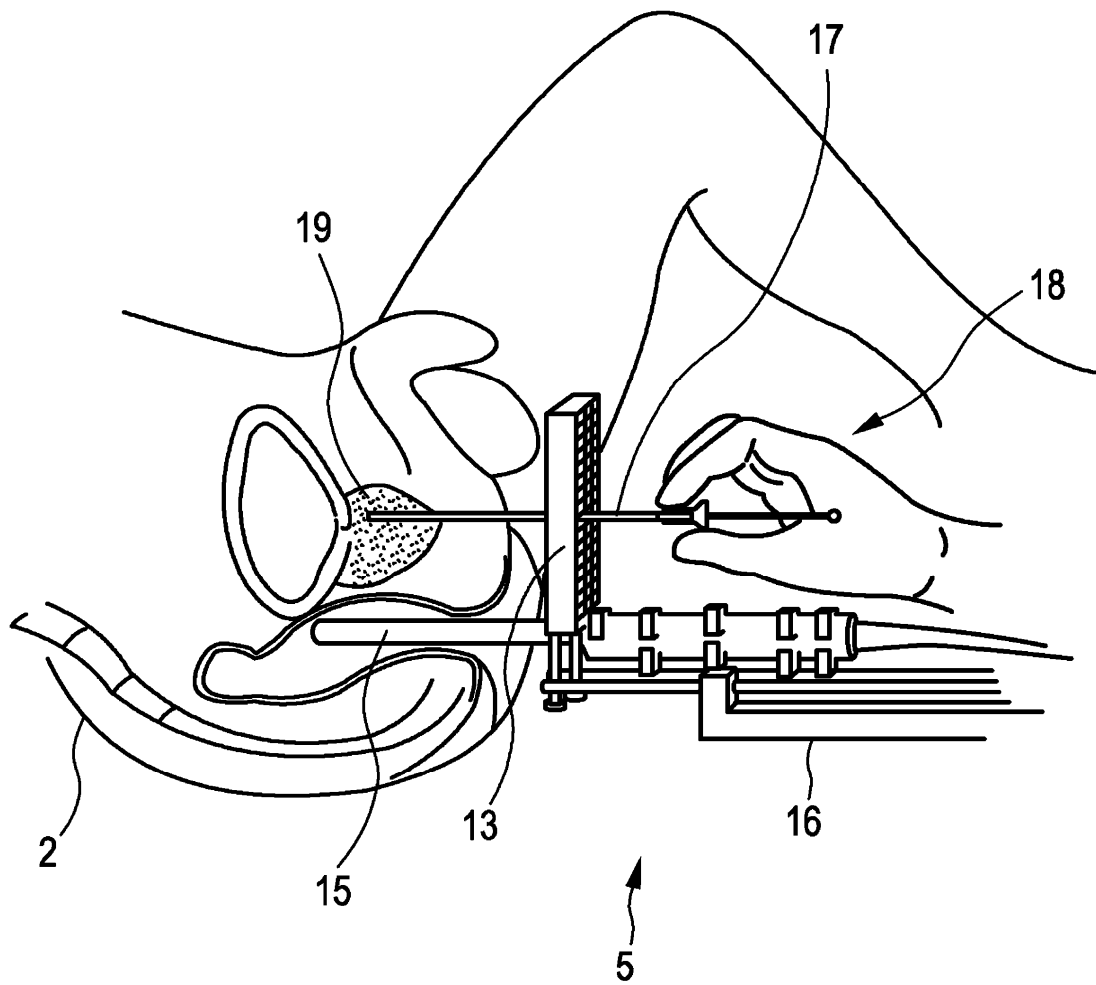


FIG. 2

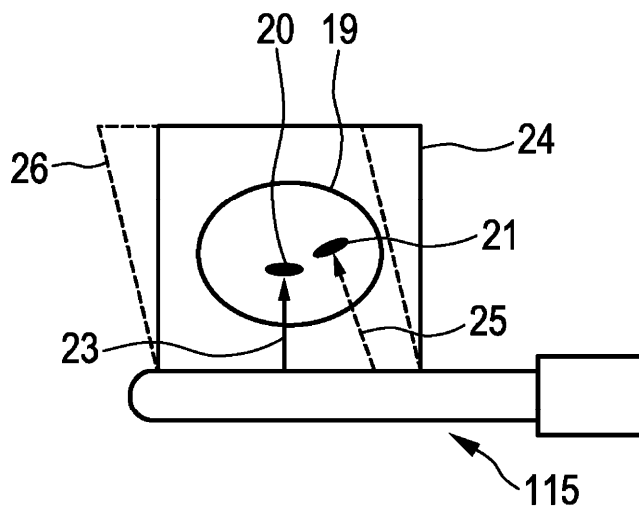


FIG. 3

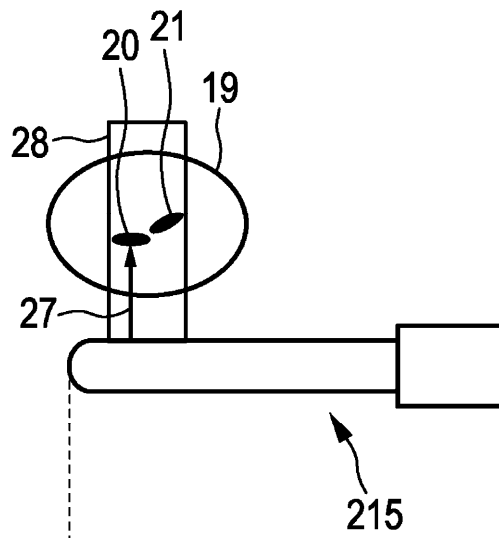


FIG. 4a

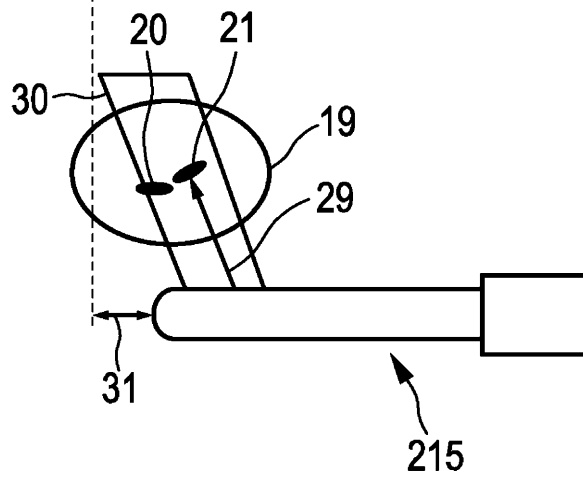


FIG. 4B

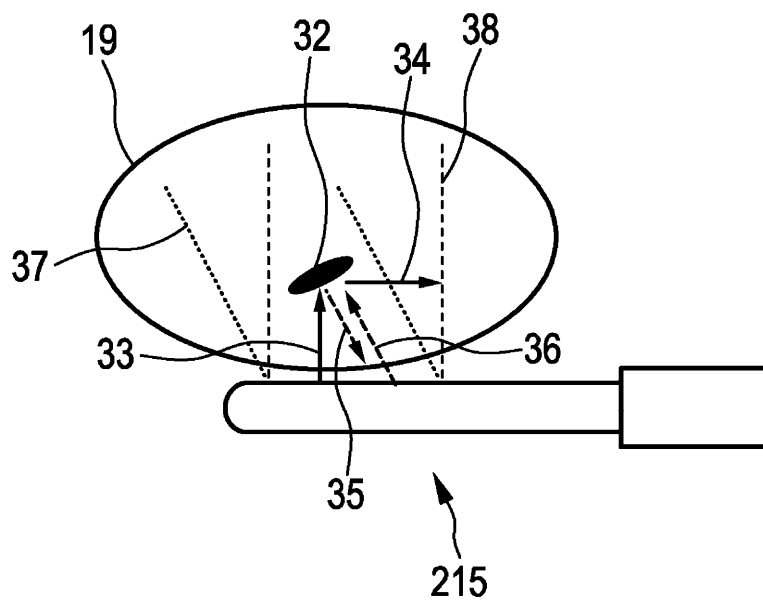


FIG. 5

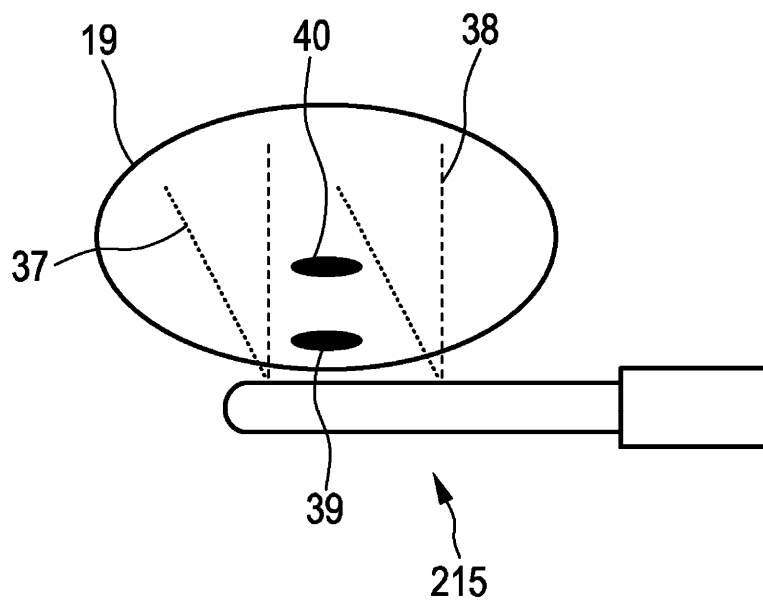


FIG. 6

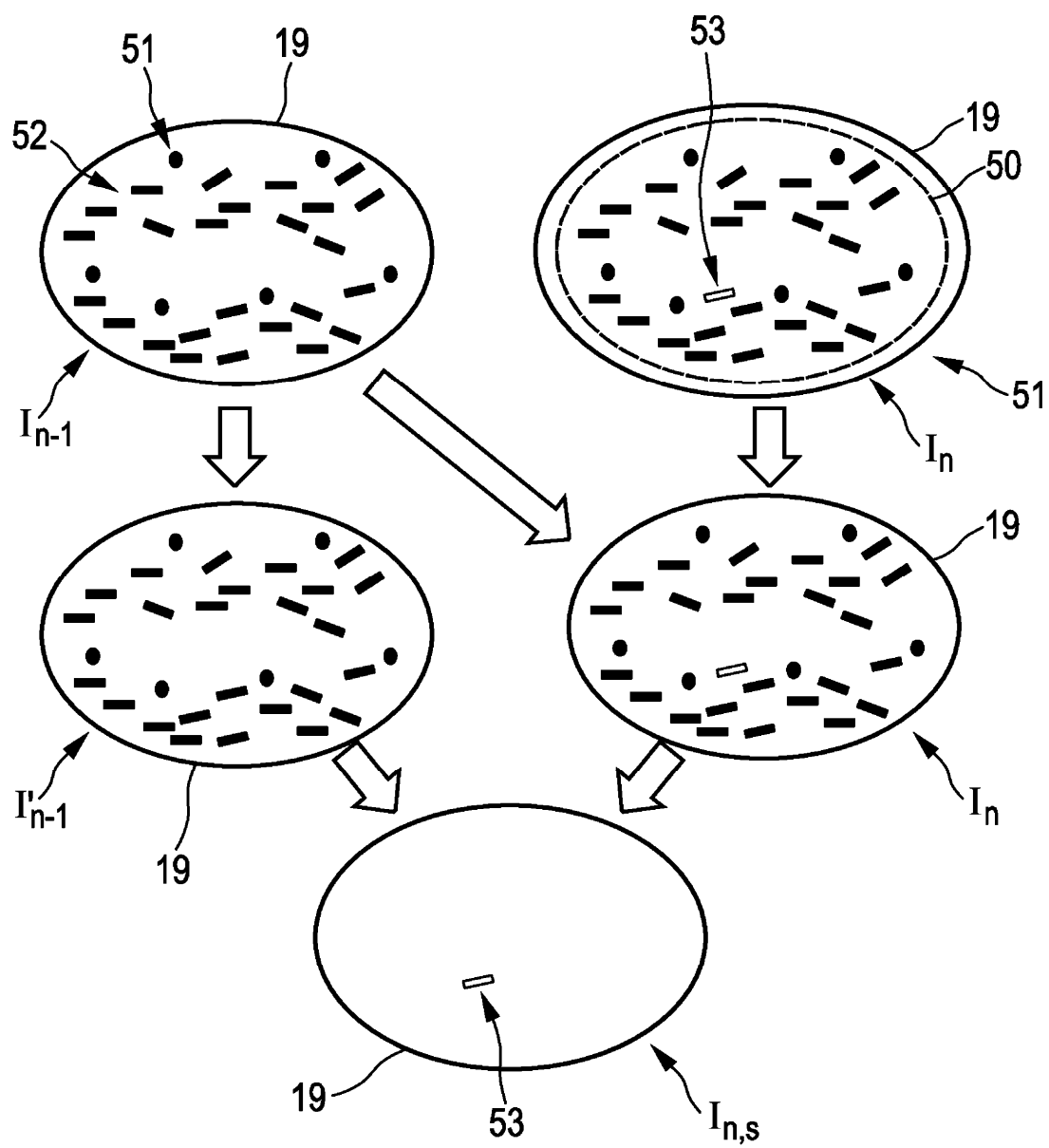


FIG. 7



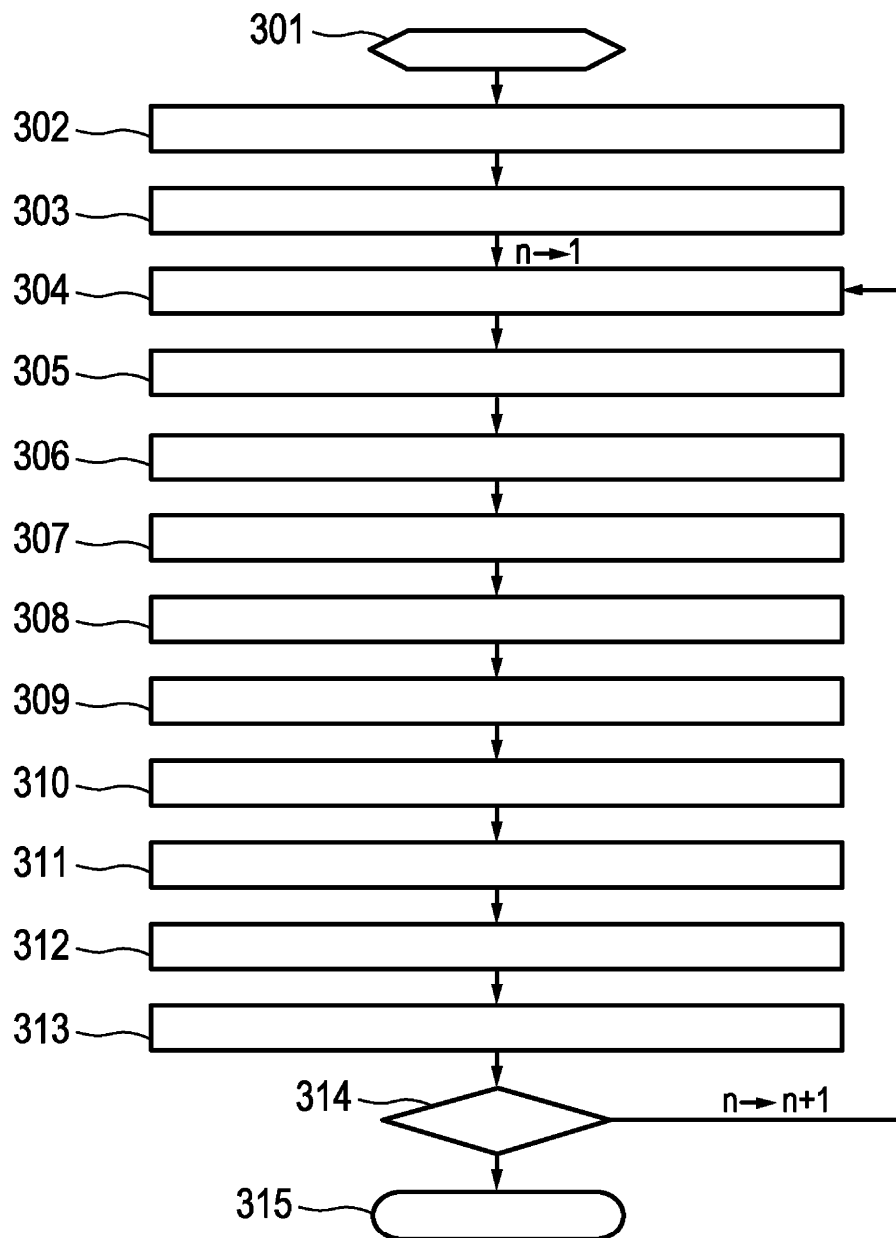


FIG. 8

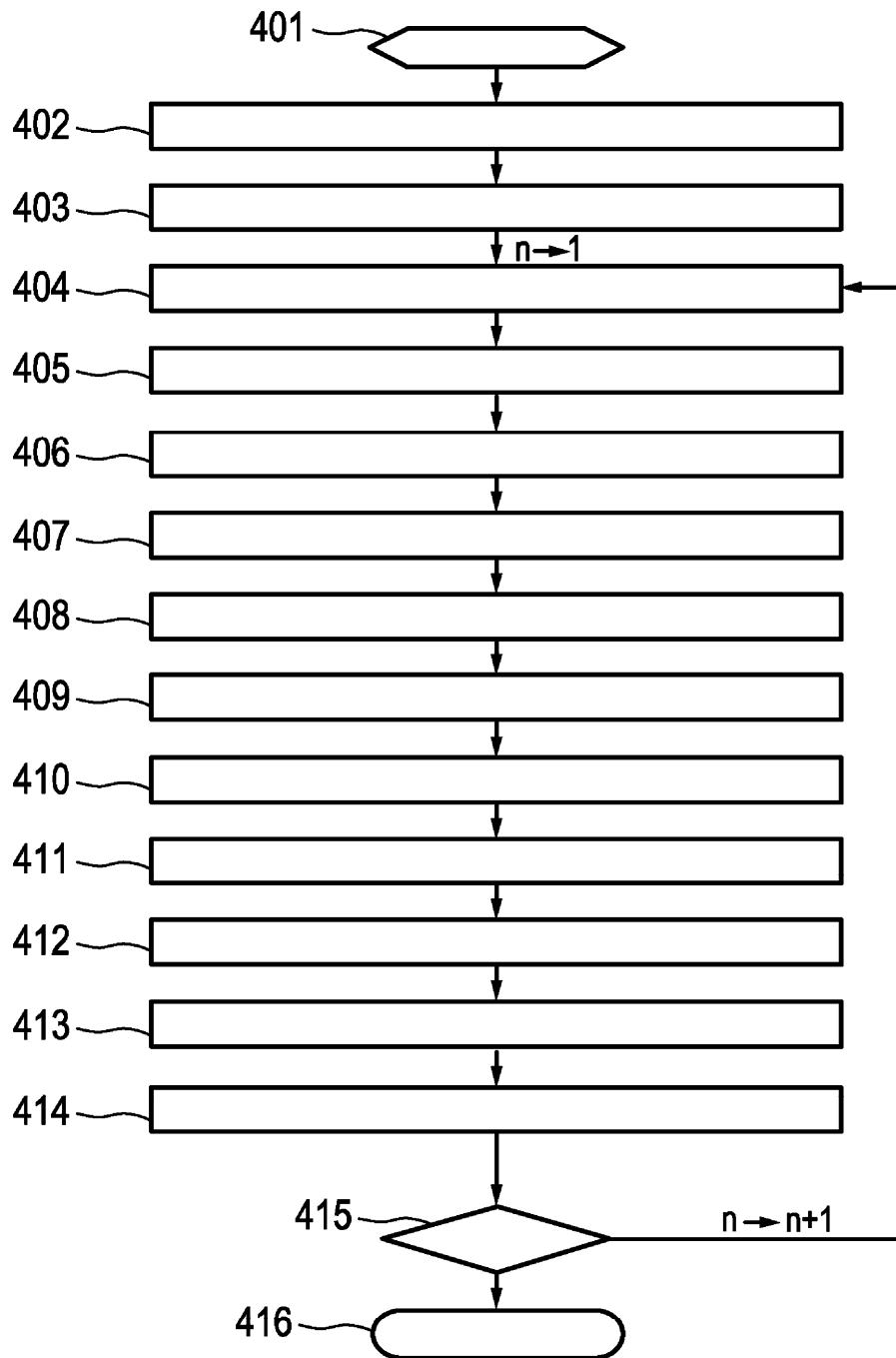


FIG. 9