

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 604**

51 Int. Cl.:

A61B 5/06 (2006.01)

A61B 18/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2009 E 09757088 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2015 EP 2305115**

54 Título: **Método para simular la forma curva de un catéter y catéter de inducción magnética**

30 Prioridad:

06.06.2008 CN 200810038763

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

14.09.2015

73 Titular/es:

**SHANGHAI MICROPORT EP MEDTECH CO., LTD.
(100.0%)
Building 28, 588 Tianxiong Road, Pudong New
District
Shanghai 201318, CN**

72 Inventor/es:

**LIU, DAOZHI;
YE, MING;
GUO, JUNMIN y
WANG, SHUN**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 545 604 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para simular la forma curva de un catéter y catéter de inducción magnética

5 Campo técnico

La presente invención se relaciona con la industria de instrumentos médicos, y más particularmente con un método para simular la forma curva de un catéter y un catéter de inducción magnética.

10 Antecedentes de la invención

Los catéteres de ablación por RF se usan principalmente para mapeo electrofisiológico, estimulación cardíaca temporal, ablación por RF y similares de la arritmia cardíaca. La Figura 1 es una vista esquemática de un catéter de ablación por RF conocido el cual se indica generalmente por una número de referencia 10 y comprende, entre otros, un mango de catéter 11, un cuerpo de catéter 12, un electrodo de punta 13, un conector 14 y un cable de extensión 15.

20 En el tratamiento convencional de ablación por RF con catéter, mediante el catéter 10, el electrodo de punta 13 capaz de transmitir energía de RF puede insertarse de manera transvenosa o transarterial en un cuerpo humano y en un lugar del corazón bajo el monitoreo de un TV de rayos X para la ablación de un foco en el mismo. Cuando se trata la arritmia compleja, tal como fibrilación auricular, aleteo auricular y similares, es necesario conectar los puntos de ablación en línea para aislar completamente foco(s) electrofisiológico(s) anormal(es) para propósitos del tratamiento.

25 Durante el tratamiento anterior de ablación lineal, un operador necesita conocer las posiciones del electrodo de punta 13 y registrar las posiciones de los focos a someter a ablación para continuar con el procedimiento. En la actualidad, el aparato de mapeo tridimensional es el medio más usado para el mapeo de imágenes anatómicas tridimensionales para mostrar las posiciones del electrodo de punta 13 y los focos a someter a ablación. Una vez que se establecen las imágenes anatómicas tridimensionales, la operación bajo rayos X no es necesaria y de este modo la exposición a rayos X se reduce significativamente. Mientras tanto, en el caso donde se establecen las imágenes anatómicas tridimensionales, el tiempo de descarga de ablación se reduce, reduciendo así el riesgo de dañar accidentalmente el nodo auriculoventricular, lo cual puede facilitar ventajosamente el despliegue del catéter y la determinación precisa de las posiciones de la excitación ectópica y del catéter. Por lo tanto, las imágenes anatómicas tridimensionales mapeadas por el aparato de mapeo tridimensional son más precisas y confiables que aquellas graficadas mediante el posicionamiento de rayos X biplano convencional.

35 La inducción del campo eléctrico y la inducción del campo magnético son dos métodos principales de mapeo por inducción en aplicaciones clínicas para el mapeo de imágenes anatómicas tridimensionales por el aparato de mapeo tridimensional. En particular, el método de inducción del campo magnético se usa ampliamente debido a su posicionamiento preciso y excelente repetibilidad. Sin embargo, la imagen anatómica tridimensional graficada por la tecnología actual de inducción magnética tiene una limitación relativamente grande dado que sólo puede mostrar la posición del electrodo de punta 13 y no puede mostrar la forma curva del cuerpo de catéter 12 del catéter 10 en el corazón. Durante el procedimiento, el operador no puede observar visualmente la forma curva del catéter 10 en el corazón, lo que resulta en un inconveniente para el procedimiento, con lo que se reduce así radicalmente la seguridad y la controlabilidad de este. El documento US 2007/0106116 A1 describe un dispositivo de conformidad con el preámbulo de la reivindicación 15.

45 Resumen de la invención

50 Un objetivo de la presente invención es proporcionar un método para simular la forma curva de un catéter con un electrodo, lo que permite mostrar la forma curva del catéter en uso y lo cual puede resultar conveniente para el procedimiento y mejorar la seguridad y controlabilidad de este.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un catéter de inducción magnética el cual puede mostrar una forma curva en sí, en uso, y que puede resultar conveniente para el procedimiento y mejorar la seguridad y controlabilidad de este.

55 De conformidad con la presente invención, un método para simular la forma curva de un catéter el cual se proporciona con al menos dos elementos sensores, comprende: generar una corriente inducida al atravesar líneas magnéticas de fuerza con los elementos sensores; extraer información espacial de los elementos sensores a partir de información de la corriente inducida; y calcular la forma curva del catéter con base en la información espacial y en combinación con información característica del catéter.

60 Calcular la forma curva del catéter comprende establecer una función curvilínea de la forma curva del catéter, resolver la

función curvilínea del catéter por el método de aproximación por spline de energía interna mínima y obtener la forma curva del catéter.

5 Preferentemente, calcular la forma curva del catéter comprende establecer una función curvilínea de la forma curva del catéter para cada segmento del catéter entre dos elementos sensores adyacentes, resolver la función curvilínea de cada segmento del catéter por el método de aproximación por spline de energía interna mínima, obtener la forma curva de cada segmento del catéter, y después obtener la forma curva completa del catéter.

10 Preferentemente, el método de aproximación por spline de energía interna mínima comprende adicionalmente normalizar la curva que representa la forma curva del catéter entre dos elementos sensores adyacentes; establecer una función curvilínea $p(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$ con una longitud de arco t de la curva como una variable, en la cual t está en un intervalo de $[0,1]$, y a , b , c y d son cuatro desconocidos; calcular los valores de $p(0)$, $p(1)$ y $p'(0)$, $p'(1)$ con base en la información espacial y la información característica; y resolver la función curvilínea $p(t)$ mediante la sustitución de los valores de $p(0)$, $p(1)$ y $p'(0)$, $p'(1)$ en la función curvilínea $p(t)$.

15 Preferentemente, el método de la curva de energía interna mínima se usa para resolver los valores de $p'(0)$, $p'(1)$.

20 Preferentemente, usar el método de la curva de energía interna mínima para resolver los valores de $p'(0)$, $p'(1)$ comprende suponer que $p'(0) = a_0v_0$, $p'(1) = a_1v_1$, en las cuales a_0 , a_1 son longitudes de vectores tangentes a dos extremos de la curva, y v_0 , v_1 son las direcciones de los dos extremos de la curva; suponer que $f(a_0, a_1) = E - \lambda L$, en la cual E representa la energía interna de la curva, L representa una longitud de la curva, λ es un coeficiente, resolver esto y obtener a_0 , a_1 ; sustituir a_0 , a_1 y v_0 , v_1 en $p'(0) = a_0v_0$, $p'(1) = a_1v_1$, y obtener los valores de $p'(0)$, $p'(1)$.

25 Preferentemente, la longitud L de la curva es una condición de restricción cuando la energía interna E de la curva toma el valor mínimo.

Preferentemente, la forma curva del catéter se muestra.

30 Preferentemente, un lado interno y un lado externo del catéter se muestran con diferentes colores.

Preferentemente, un ancho del catéter mostrado se establece con base en un diámetro real del catéter.

Preferentemente, uno de los al menos dos elementos sensores se dispone en una punta del catéter.

35 Preferentemente, la información espacial comprende información de la posición tridimensional e información de la dirección de los elementos sensores.

40 Preferentemente, la información característica del catéter comprende el material, la longitud del catéter en sí y/o un intervalo entre dos elementos sensores.

Preferentemente, los elementos sensores son sensores magnéticos.

45 Preferentemente, los sensores magnéticos comprenden sensores magnéticos de cinco grados de libertad y/o sensores magnéticos de seis grados de libertad.

50 De conformidad con la presente invención, un catéter de inducción magnética comprende un cuerpo de catéter; al menos dos elementos sensores dispuestos respectivamente en el catéter para atravesar líneas magnéticas de fuerza para generar una corriente inducida; un dispositivo de extracción de señal para extraer información espacial de los elementos sensores a partir de la información de la corriente inducida; un dispositivo de simulación y procesamiento para calcular la forma curva del catéter con base en la información espacial y en combinación con la información característica del catéter.

55 El dispositivo de simulación y procesamiento comprende adicionalmente un módulo de cálculo para establecer una función curvilínea de la forma curva del catéter, resolver la función curvilínea del catéter por el método de aproximación por spline de energía interna mínima y obtener la forma curva del catéter.

Preferentemente, uno de los al menos dos elementos sensores se dispone en una punta del catéter.

60 Preferentemente, los elementos sensores son sensores magnéticos.

Preferentemente, los sensores magnéticos comprenden sensores magnéticos de cinco grados de libertad y/o sensores magnéticos de seis grados de libertad.

Preferentemente, un cable del sensor magnético se envuelve con una malla de alambre de plata.

En comparación con la técnica anterior, la presente invención tiene las siguientes ventajas.

5 En la presente invención, cerca del electrodo de punta del catéter se disponen los sensores magnéticos con líneas magnéticas de fuerza atravesadas para generar una corriente inducida. La información de la posición y la información espacial de los sensores magnéticos se extraen con base en la información de la corriente inducida, y después la forma curva del catéter se calcula en combinación con la información característica del catéter en sí y se muestra en el dispositivo de visualización asociado. Así, el operador puede observar visualmente la forma curva del catéter en el corazón durante el procedimiento. En comparación con la técnica anterior que sólo muestra una posición del electrodo de punta del catéter, la presente invención puede proporcionar al operador suficiente información de la condición de uso del catéter, mejorando de este modo la seguridad y la efectividad del procedimiento.

15 Breve descripción de las figuras

La Fig. 1 es una vista esquemática de un catéter de ablación por RF de la técnica anterior;
 La Fig. 2 es una vista esquemática de un catéter de conformidad con la presente invención;
 La Fig. 3 es una vista en sección esquemática de un electrodo de punta de conformidad con la presente invención;
 La Fig. 4 es una vista esquemática del esbozo del catéter de conformidad con la presente invención;
 20 La Fig. 5 es una vista del catéter en uso en un corazón de conformidad con la presente invención;
 La Fig. 6 es una vista en sección longitudinal del catéter con tres sensores magnéticos montados en el mismo de conformidad con la presente invención;
 La Fig. 7 es una vista del principio de cálculo de la forma curva del catéter de conformidad con la presente invención; y
 La Fig. 8 es una vista del principio de cálculo de la forma curva del catéter de conformidad con la presente invención.

25 Descripción detallada de las modalidades preferidas

Los objetivos, características y ventajas anteriores de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos y modalidades anexadas.

30 En la presente invención, cerca del electrodo de punta del catéter del catéter de ablación por RF se disponen los sensores magnéticos con líneas magnéticas de fuerza atravesadas para generar la corriente inducida. La información de la posición y la información direccional de los sensores magnéticos se extraen con base en la información de la corriente inducida y después la forma curva del catéter se calcula en combinación con la información característica del catéter en sí y se muestra en un dispositivo de visualización asociado. Así, el operador puede observar visualmente la forma curva del catéter en el corazón durante el procedimiento. En comparación con la materia anterior, la presente invención puede resultar conveniente para el procedimiento y mejorar la seguridad y controlabilidad del procedimiento.

40 La Fig. 2 muestra la vista esquemática de un catéter de conformidad con la presente invención. El catéter 20 comprende un mango de catéter 21, un cuerpo de catéter 22, un electrodo de punta 23, un sensor magnético 24, un sensor magnético 25, un conector 26 y un cable de extensión 27. Los sensores magnéticos 24 y 25 se disponen dentro del cuerpo de catéter 22 a una distancia corta del electrodo de punta 23. Específicamente, el sensor magnético 24 se dispone en una punta del cuerpo de catéter 22. El electrodo de punta 23 se conecta con el mango de catéter 21 mediante el cuerpo de catéter 22. El mango de catéter 21 se conecta con el cable de extensión 27 mediante el conector 26. El cable de extensión 27 se conecta con un aparato de mapeo tridimensional y similares.

45 La Fig. 3 muestra la vista en sección esquemática del electrodo de punta 23. El electrodo de punta 23 comprende un lumen del sensor magnético 231, un lumen de perfusión de la solución salina fría 232, un lumen del alambre de plomo 233, y un lumen del alambre de tracción 234, en donde el sensor magnético 25 se monta herméticamente mediante pegamento o similar en el lumen del sensor magnético 231.

50 El electrodo de punta 23 puede usarse para ablación, mapeo, y simulación y similares. El electrodo de punta 23 es un cilindro que tiene una longitud en un intervalo de 3 mm-8 mm y se fabrica de platino, platino-iridio, acero inoxidable y similares. Los alambres de plomo para transmitir la energía de RF, los sensores de temperatura para medir la temperatura, los alambres de tracción para controlar la forma curva de la sección de la punta del catéter, o los tubos para perfundir la solución salina y similares se pueden fijar en el electrodo de punta 23.

55 Los sensores magnéticos 24 y 25 pueden ser sensores magnéticos de cinco grados de libertad cada uno compuesto de una única bobina, o pueden ser sensores magnéticos de seis grados de libertad cada uno compuesto de tres bobinas perpendiculares entre sí, o pueden ser respectivamente un sensor magnético de cinco grados de libertad y un sensor magnético de seis grados de libertad. Ambos sensores magnéticos 24 y 25 tienen cables de conexión. El sensor magnético de cinco grados de libertad tiene dos alambres de conexión de plomo, y el sensor magnético de seis grados de libertad tiene seis alambres de conexión de plomo. Los alambres de conexión de plomo de cada uno de los sensores

magnéticos se tuercen entre sí y se envuelven de manera ajustada con cable de conexión compuesto de la malla de material de plata.

5 La Fig. 4 muestra la vista esquemática del esbozo del catéter de conformidad con la presente invención la cual comprende el catéter 20, un dispositivo de visualización 30, un dispositivo de extracción de señal 40, un dispositivo de simulación y procesamiento 50, el mango de catéter 21, el cuerpo de catéter 22, el electrodo de punta 23, el sensor magnético 24, el sensor magnético 25, el conector 26 y el cable de extensión 27. El dispositivo de visualización 30 comprende una ventana de simulación de forma de curva 31 y un medio de configuración de parámetros 32.

10 Cuando se usa el catéter 20 para el tratamiento, el corazón de un paciente se encuentra en una región de trabajo óptima de un generador de campo magnético. A medida que el catéter 20 se mueve en el corazón, los sensores magnéticos 24 y 25 dentro del cuerpo de catéter 22 se mueven para atravesar las líneas magnéticas de fuerza para generar la corriente inducida la cual se transmite a un amplificador de señal (no mostrado) en el mango de catéter 21 a través de los alambres de conexión de plomo. La señal de corriente se amplifica mediante el amplificador de señal y después se transmite al dispositivo de extracción de señal 40. Mediante el dispositivo de extracción de señal 40, la información de la posición y la información de la dirección de los sensores magnéticos 24 y 25 se extraen a partir de la información de la corriente inducida, y después las mismas se transmiten al dispositivo de simulación y procesamiento 50.

20 La forma curva del catéter 20 se calcula mediante el dispositivo de simulación y procesamiento 50 con base en la información de la posición y la información de la dirección en combinación con la información característica del catéter 20, y después se transmite al dispositivo de visualización 30 a través del cable de extensión 27. El dispositivo de simulación y procesamiento 50 comprende adicionalmente un módulo de cálculo para establecer una función curvilínea de la forma curva del catéter, resolver la función curvilínea del catéter mediante el método de aproximación por spline de energía mínima con base en la información de la posición, dirección y característica, y obtener la forma curva del catéter.

25 El dispositivo de visualización 30 muestra la forma curva del catéter 20 a través de la ventana de simulación de flexión 31.

30 El diámetro y el color del catéter 20 que se muestran en la ventana de simulación de la forma curva 31 pueden cambiarse mediante el ajuste del parámetro de configuración a través del medio de configuración de parámetros 32 del dispositivo de visualización 30. Por ejemplo, la forma curva del catéter 20 puede mostrarse de manera realista al configurar un ancho de pantalla correspondiente con base en el diámetro real del catéter 20. Un lado interno y un lado externo de la forma curva del catéter 20 pueden diferenciarse mediante los colores del medio de configuración de parámetros 32 así como al hacer la pantalla estereoscópica.

35 En la presente invención, se toma una distancia entre el sensor magnético 25 y el electrodo de punta 23 como un parámetro conocido. A medida que el catéter 20 se mueve durante el procedimiento, la información de la posición del electrodo de punta 23 se obtiene con base en la información de la posición del sensor magnético 25 y la distancia entre el sensor magnético 25 y el electrodo de punta 23. Cuando el electrodo de punta 23 hace contacto con varios lugares de la cámara del corazón a medida que el catéter 20 se mueve, la estructura del perfil de la cámara del corazón puede representarse, y la información de los puntos de ablación y las actividades electrofisiológicas cardíacas se indican en la superficie endocárdica.

40 Con referencia a la Fig. 5, la cual es la vista del catéter de ablación por RF en uso en un corazón de conformidad con la presente invención. Un tubo recubierto 53 penetra a través de la vena femoral, en una aurícula derecha 55 de la vena cava inferior 54, después penetra a través del tabique auricular 55 en una aurícula izquierda 57. El catéter 20, que pasa a través del tubo recubierto 43, realiza la ablación por RF cerca de un orificio de la vena pulmonar 58. El catéter 20 se opera bajo la guía del modelo del corazón y con referencia a las formas curvas del catéter 20, de modo que la realización del procedimiento pueda controlarse visualmente.

45 Al mostrar la posición del electrodo de punta 23 y la forma curva del catéter 20 para representar las formas curvas del catéter 20 en la cámara del corazón, la presente invención puede proporcionar al operador una información de condición de uso suficiente del catéter 20, y mejorar de ese modo la seguridad y la efectividad del procedimiento.

50 En la presente invención, pueden proporcionarse adicionalmente más sensores magnéticos en la región a una distancia corta del electrodo de punta 23 del catéter 20. Preferentemente, el número de sensores magnéticos es 2-4 tomando en consideración el factor del costo y el espacio de ensamblaje.

55 Con referencia a la Fig. 6 la cual es la vista en sección longitudinal del catéter con tres sensores magnéticos montados en el mismo de conformidad con la presente invención. El catéter 20 comprende el mango de catéter 21, el cuerpo de catéter 22, el electrodo de punta 23, el sensor magnético 24, el sensor magnético 25, y el sensor magnético 28. Los

sensores magnéticos 24, 25 y 28 se disponen dentro del cuerpo de catéter 22. Más específicamente, el sensor magnético 24 se dispone en la punta del cuerpo de catéter 22, y los sensores magnéticos 25 y 28 se disponen a una distancia corta del sensor magnético 24.

5 Ciertamente, en lugar de los sensores magnéticos, la presente invención puede usar además otros elementos sensores que tienen una función de inducción del campo magnético.

10 En la presente invención, la simulación y el cálculo de las formas curvas del catéter 20 se lleva a cabo principalmente por el dispositivo de extracción de señal 40 y el dispositivo de simulación y procesamiento 50 el cual puede integrarse en un único chip dispuesto dentro del mango de catéter 21.

El principio de trabajo del dispositivo de simulación y procesamiento 50 se describirá detalladamente a modo de ejemplo como sigue.

15 Con referencia a la Fig. 7, la cual es la vista del principio de cálculo de la forma curva del catéter de conformidad con la presente invención. Siempre y cuando la trayectoria de la forma curva del catéter 20 sea una curva tridimensional simple 71, una caja rectangular (sensor) 72 y una caja rectangular 73 que corresponden respectivamente a los dos sensores magnéticos se proporcionen en la curva 71.

20 Al normalizar la curva 71 con las cajas rectangulares, y al tomar una longitud de arco t de la curva como una variable con un valor en un intervalo de $[0,1]$, entonces la función curvilínea es:

$$p(t) = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (1)$$

25 en la cual, a, b, c y d son cuatro desconocidos, las magnitudes de $p(0), p(1)$ y las direcciones de $p'(0), p'(1)$ pueden obtenerse en el dispositivo de extracción de señal 40, las magnitudes de $p(0), p(1)$ dependen de la información característica del catéter 20 en sí el cual comprende material, longitud del catéter en sí y un intervalo entre los dos sensores magnéticos. La presente invención usa el método de la curva de energía interna mínima para resolver $p'(0), p'(1)$. En la ecuación (1), las variables desconocidas a, b, c y d pueden expresarse como:

$$35 \begin{cases} a = 2p(0) - 2p(1) + p'(0) + p'(1) \\ b = -3p(0) + 3p(1) - 2p'(0) - p'(1) \\ c = p'(0) \\ d = p(0) \end{cases} \quad (2)$$

40 La ecuación (1) puede transformarse en:

$$p(t) = (2t^3 - 3t^2 + 1)p(0) + (t^3 - 2t^2 + t)p'(0) + (-2t^3 + 3t^2)p(1) + (t^3 - t^2)p'(1) \quad (3)$$

45 La ecuación (3) puede transformarse en:

$$50 \quad p(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p(0) \\ p(1) \\ p'(0) \\ p'(1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

55 En la ecuación (4), $p'(0) = a_0v_0, p'(1) = a_1v_1, a_0, a_1$ son longitudes de vectores tangentes a dos extremos de la curva, y v_0, v_1 son los vectores tangentes de los dos extremos de la curva, en donde v_0, v_1 pueden obtenerse a partir de la información característica del catéter 20 en sí. El método de cálculo de las longitudes a_0, a_1 de vectores tangentes a dos extremos de la curva se describirá como sigue.

60

Suponer que la curvatura y el radio de la curvatura de la curva son $k(t)$ y $\rho(t)$ respectivamente, entonces la energía interna de la curva es:

$$E = \int_0^1 k^2(t) ds = \int_\alpha^\beta \frac{\rho(t) d\theta}{\rho^2(t)} = \int_\alpha^\beta \frac{d\theta}{\rho(t)} \quad (5)$$

La longitud de la curva es:

$$\int_\alpha^\beta \rho(t) d\theta = L \quad (6)$$

La ecuación para calcular la curvatura es:

$$\frac{|p''(t)|}{|1 + p'(t)^2|^{\frac{3}{2}}} \quad (7)$$

Para simplificar el cálculo, la energía interna de la curva puede expresarse como:

$$E = \int_0^1 p''(t)^2 dt \quad (8)$$

La longitud de la curva puede tomarse como la condición de restricción cuando la energía interna de la curva toma el valor mínimo, y el método de los multiplicadores de Lagrange se usa para resolver (la condición de restricción puede no tomarse en cuenta para simplificar el cálculo):

$$f(a_0, a_1) = E - \lambda L \quad (9)$$

De conformidad con la ecuación (4), suponer que:

$$U = 2p_0 - 2p_1 + a_0v_0 + a_1v_1 \quad (10)$$

$$V = -3p_0 + 3p_1 - 2a_0v_0 - a_1v_1 \quad (11)$$

Sustituir las ecuaciones (10) y (11) en la ecuación (8) para obtener:

$$E = 12U^2 + 12UV + 4V^2 \quad (12)$$

Resolver las ecuaciones:

$$\begin{cases} \frac{\partial f(a_0, a_1)}{\partial a_0} = 0 \\ \frac{\partial f(a_0, a_1)}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial f(a_0, a_1)}{\partial \lambda} = 0 \end{cases}$$

Después, obtener las longitudes de los vectores tangentes a los dos extremos de la curva:

$$a_0 = \frac{6[(p_1 - p_0) \bullet v_0](v_1)^2 - 3[(p_1 - p_0) \bullet v_1](v_0 \bullet v_1)}{[4(v_0)^2(v_1)^2 - (v_0 \bullet v_1)^2]} ; (13)$$

$$a_1 = \frac{3[(p_1 - p_0) \bullet v_0](v_0 \bullet v_1) - 6[(p_1 - p_0) \bullet v_1](v_0)^2}{[(v_0 \bullet v_1)^2 - 4(v_0)^2(v_1)^2]} ;$$

Al obtener las longitudes a_0, a_1 de los vectores tangentes en los dos extremos de la curva, los valores de $p'(0), p'(1)$ pueden obtenerse, y después la forma curva de la curva puede obtenerse a partir de la ecuación (4) en combinación con los valores de $p(0), p(1)$.

Si el catéter es más bien largo o se necesita una forma curva del catéter más realista, pueden proporcionarse tres o más elementos sensores. Una función curvilínea de la forma curva del catéter se establece para cada segmento del catéter entre dos elementos sensores adyacentes. La función curvilínea de cada segmento del catéter se resuelve mediante el método de aproximación por spline de energía mínima, como un resultado, puede obtenerse la forma curva de cada segmento del catéter y después la forma curva completa del catéter.

Cuando la forma curva del catéter es más bien compleja, por ejemplo, existen dos o más segmentos curvos continuos, la forma curva del catéter puede dividirse en múltiples segmentos con curvas 3D simples.

La Fig. 8 muestra la vista del principio de cálculo de la forma curva del catéter de conformidad con la presente invención. Siempre y cuando la trayectoria de la forma curva del catéter sea una curva espacial simple 81, y tres cajas rectangulares 82, 83 y 84, que corresponden respectivamente a tres sensores magnéticos, se proporcionan en las mismas.

Se establece un conjunto de puntos fijos $(p(k), p'(k)), k = 0, 1, 2, \dots, n$, en el cual los puntos dados $n+1$ se dividen en grupos con dos puntos adyacentes como un grupo. El segmento entre dos puntos adyacentes se normaliza y resuelve a través de las ecuaciones anteriores (1)-(13) para obtener la forma curva de cada segmento de la curva. Después, se obtiene una curva de spline cúbica que conecta todos los segmentos definidos por los puntos dados. Los vectores tangentes y sus longitudes en su punto común de dos segmentos de la curva son los mismos. Esto asegura que los dos segmentos de la curva son continuos sin interrupción en primer orden.

El método para mostrar la forma curva del catéter y un catéter de conformidad con la presente invención se han descrito a detalle como anteriormente. Los principios y modalidades en la presente se han ilustrado mediante ejemplos ilustrados y la ilustración de los ejemplos pretende facilitar el entendimiento del método. Los expertos en la técnica pueden modificar las modalidades y las aplicaciones de estas de conformidad con la presente invención. La descripción en la presente no se interpretará como una limitación a la presente invención.

REIVINDICACIONES

- 5
1. Un método para simular la forma curva de un catéter con al menos dos elementos sensores en este, que comprende las etapas de:
- generar una corriente inducida mediante los elementos sensores que atraviesan líneas magnéticas de fuerza; extraer información espacial de los elementos sensores a partir de la información de la corriente inducida; y calcular la forma curva del catéter con base en la información espacial y en combinación con la información característica del catéter;
- 10 la etapa de calcular la forma curva del catéter comprende establecer una función curvilínea de la forma curva del catéter, resolver la función curvilínea del catéter por el método de aproximación por spline de energía interna mínima y obtener la forma curva del catéter.
- 15
2. El método como se reivindica en la reivindicación 1, en donde la etapa de calcular la forma curva del catéter comprende establecer una función curvilínea de la forma curva para cada segmento del catéter entre dos elementos sensores adyacentes, resolver la función curvilínea de cada segmento del catéter mediante el método de aproximación por spline de energía interna mínima, obtener la forma curva de cada segmento del catéter y después la forma curva completa del catéter.
- 20
3. El método como se reivindica en la reivindicación 2, en donde el método de aproximación por spline de energía interna mínima comprende adicionalmente:
- normalizar la curva de la forma curva del catéter entre dos elementos sensores adyacentes;
- 25 establecer una función curvilínea $p(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$ con una longitud de arco t de la curva como una variable, en la cual t está en un intervalo de $[0,1]$, y a , b , c y d son cuatro desconocidos;
- calcular los valores de $p(0), p(1)$ y $p'(0), p'(1)$ con base en la información espacial y la información característica; y
- 30 resolver la función curvilínea $p(t)$ mediante la sustitución de los valores de $p(0), p(1)$ y $p'(0), p'(1)$ en la función curvilínea $p(t)$.
4. El método como se reivindica en la reivindicación 3, en donde el método de la curva de energía interna mínima se usa para resolver los valores de $p'(0), p'(1)$.
- 35
5. El método como se reivindica en la reivindicación 4, en donde la etapa de usar el método de la curva de energía interna mínima para resolver los valores de $p'(0), p'(1)$ comprende:
- suponer que $p'(0) = a_0v_0, p'(1) = a_1v_1$, en las cuales a_0, a_1 son longitudes de vectores tangentes a dos extremos de la curva, y v_0, v_1 , son los vectores tangentes de los dos extremos de la curva;
- 40 suponer que $f(a_0, a_1) = E - \lambda L$, en la cual E representa la energía interna de la curva, L representa una longitud de la curva, y λ es un coeficiente, resolver esto y obtener a_0, a_1 ;
- sustituir a_0, a_1 y v_0, v_1 en $p'(0) = a_0v_0, p'(1) = a_1v_1$ y obtener los valores de $p'(0), p'(1)$.
- 45
6. El método como se reivindica en la reivindicación 5, en donde la longitud L de la curva es una condición de restricción cuando la energía interna E de la curva toma el valor mínimo.
7. El método como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente mostrar la forma curva del catéter.
- 50
8. El método como se reivindica en la reivindicación 7, que comprende adicionalmente mostrar un lado interno y un lado externo del catéter con colores diferentes.
9. El método como se reivindica en la reivindicación 7, que comprende adicionalmente establecer un ancho del catéter a mostrar con base en un diámetro real del catéter.
- 55
10. El método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en donde uno de los al menos dos elementos sensores se dispone en una punta del catéter a una distancia corta del electrodo de punta.
- 60
11. El método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en donde la información espacial comprende información de la posición tridimensional e información de la dirección de los elementos sensores.

12. El método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en donde la información característica del catéter comprende material, longitud del catéter en sí y/o un intervalo entre dos elementos sensores.
- 5 13. El método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en donde los elementos sensores son sensores magnéticos.
14. El método como se reivindica en la reivindicación 13, en donde los sensores magnéticos comprenden sensores magnéticos de cinco grados de libertad y/o sensores magnéticos de seis grados de libertad.
- 10 15. Un catéter de inducción magnética (20) que comprende:
- un cuerpo de catéter (22),
al menos dos elementos sensores (24,25) dispuestos respectivamente en el catéter para atravesar líneas magnéticas de fuerza para generar una corriente inducida;
15 un dispositivo de extracción de señal (40) para extraer información espacial de los elementos sensores a partir de la información de la corriente inducida;
un dispositivo de simulación y procesamiento (50) para calcular la forma curva del catéter con base en la información espacial y en combinación con información característica del catéter;
20 el dispositivo de simulación y procesamiento comprende adicionalmente un módulo de cálculo para establecer una función curvilínea de la forma curva del catéter, **caracterizado porque** el módulo de cálculo se adapta para resolver la función curvilínea del catéter mediante el método de aproximación por spline de energía interna mínima y obtener la forma curva del catéter.
- 25 16. El catéter como se reivindica en la reivindicación 15, en donde uno de los al menos dos elementos sensores se dispone en una punta del catéter a una distancia corta del electrodo de punta.
17. El catéter como se reivindica en la reivindicación 15, en donde los elementos sensores son sensores magnéticos.
- 30 18. El catéter como se reivindica en la reivindicación 17, en donde los sensores magnéticos comprenden sensores magnéticos de cinco grados de libertad y/o sensores magnéticos de seis grados de libertad.
- 35 19. El catéter como se reivindica en la reivindicación 17, en donde un cable del sensor magnético se envuelve con una malla de alambre de plata.

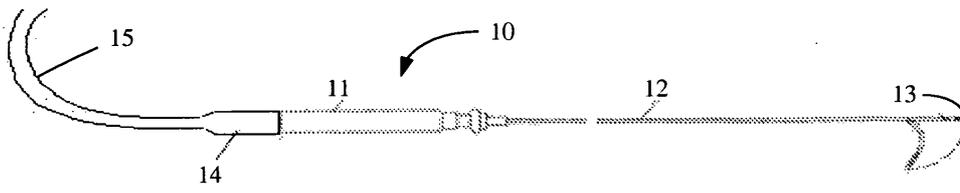


Fig.1

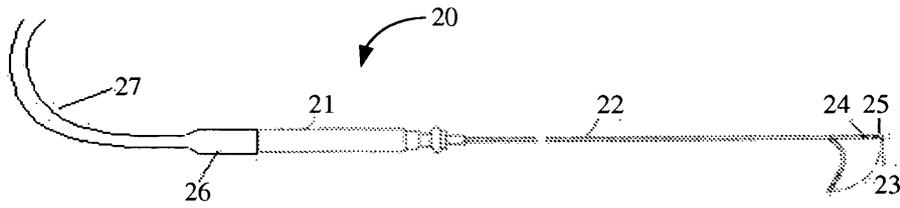


Fig.2

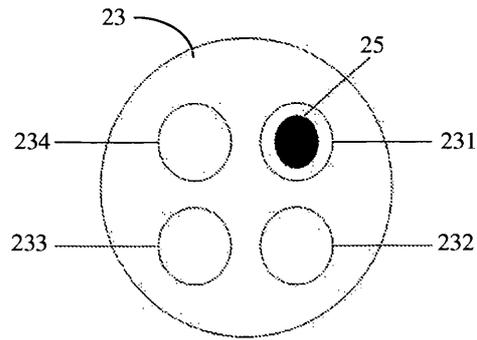


Fig.3

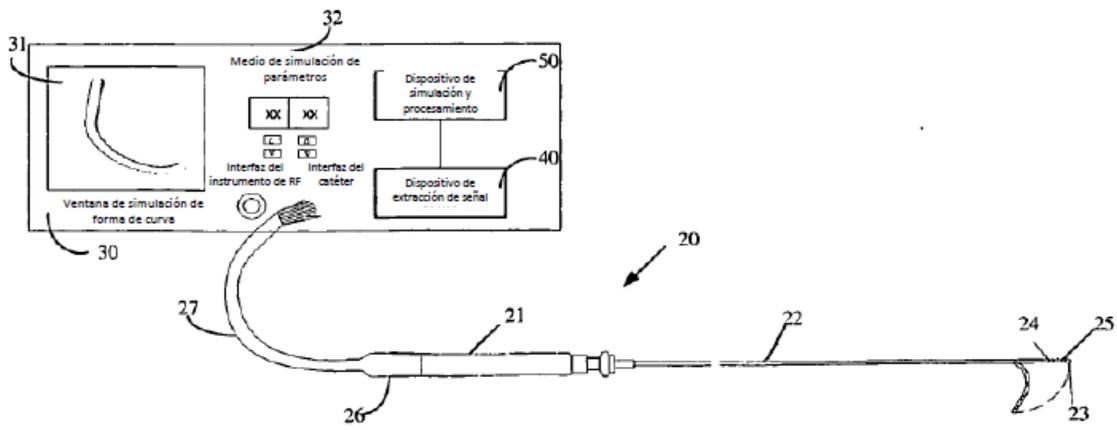


Fig.4

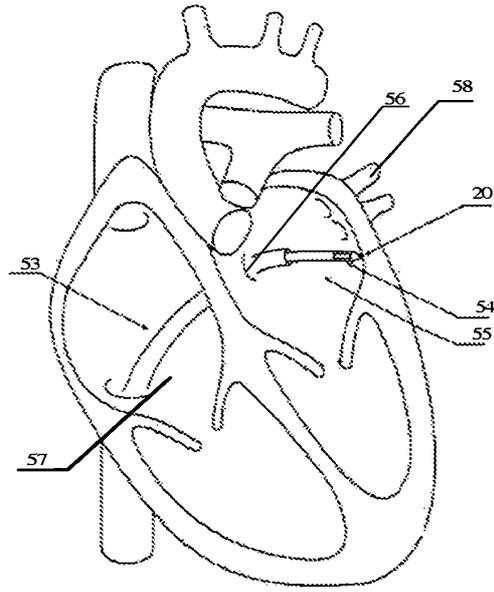


Fig.5

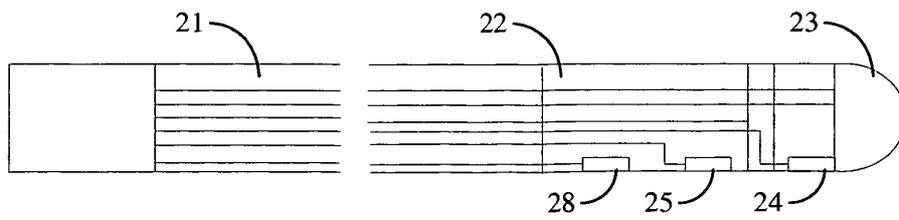


Fig.6

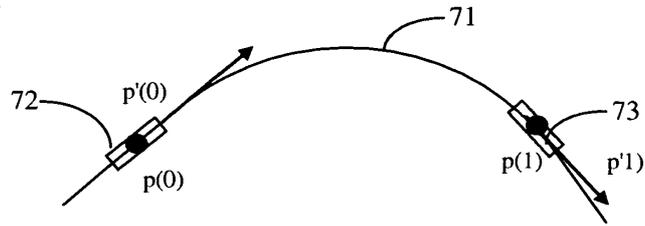


Fig.7

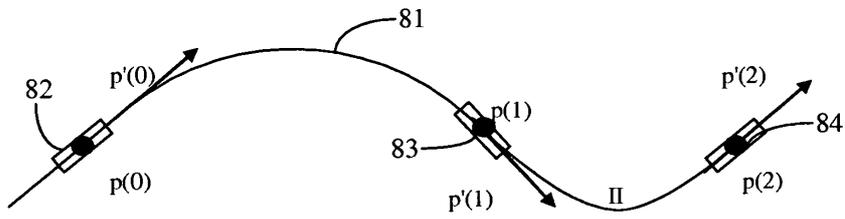


Fig.8