(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 809 741**

(51) Int. CI.:

A61B 5/05 (2006.01)
G01R 33/035 (2006.01)
A61B 5/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2017 PCT/JP2017/005824**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **08.09.2017 WO17150207**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2017 E 17759677 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3424419**

(54) Título: **Dispositivo de medición magnética**

(30) Prioridad:

03.03.2016 JP 2016041406

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2021

(73) Titular/es:

RICOH COMPANY, LTD. (50.0%)
3-6, Nakamagome 1-chome, Ohta-ku
Tokyo 143-8555, JP y
NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION TOKYO MEDICAL AND DENTAL UNIVERSITY (50.0%)

(72) Inventor/es:

YAMAGA, TAKUMI;
DEGUCHI, HIROSHI;
YAMAGUCHI, KOJI;
ISHIBE, TAKAFUMI;
MATSUMOTO, SHUNICHI;
KAWABATA, SHIGENORI y
USHIO, SHUTA

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

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

Dispositivo de medición magnética

Campo técnico

La presente invención se refiere a un aparato de medición magnética.

Técnica anterior

Existe un aparato de medición magnética conocido que incluye un conjunto de sensores que está compuesto por múltiples sensores magnéticos superconductores dispuestos en filas y columnas y está dispuesta en la superficie interna de una porción extrema de un tubo sensor (véase, por ejemplo, el documento JP200537862).

Una cara extrema del tubo sensor del aparato de medición magnética se pone en contacto con un cuerpo vivo para medir el biomagnetismo con los sensores magnéticos dispuestos en el tubo sensor. La medición se repite mientras que se hace que el sujeto se mueva con relación al tubo sensor. Sin embargo, dado que la movilidad de la columna vertebral de una persona mayor se reduce debido al envejecimiento, una persona mayor no puede doblar libremente la región cervical y la región lumbar. Si la región cervical o la región lumbar de un sujeto están en estado natural, el centro de la cara final del tubo sensor está situado lejos de la región cervical o de la región lumbar del sujeto y resulta difícil medir adecuadamente el biomagnetismo. Asimismo, si la región cervical o la región lumbar se doblan de manera forzada, el campo magnético generado por el movimiento de los músculos se convierte en una fuente de ruido y el biomagnetismo no se mide adecuadamente.

Una tecnología que se ha desvelado intenta resolver estos problemas (véase, por ejemplo, el documento EP1987769). En la tecnología divulgada, la cara extrema de un tubo sensor se curva suavemente de modo que el centro del tubo sensor sobresalga en una dirección dada con respecto a los bordes superior e inferior. Esta configuración hace que sea más fácil poner la cara extrema del tubo sensor en contacto con la región cervical y la región lumbar de un sujeto sin requerir que el sujeto doble la región cervical y la región lumbar, y por lo tanto permite medir el magnetismo débil generado en la médula espinal y un nervio espinal.

Sin embargo, dado que las formas de la región cervical y la región lumbar dependen en gran medida de la edad y la constitución física de un sujeto, hay muchos casos en los que la forma curva del tubo sensor no se ajusta adecuadamente a la región cervical y a la región lumbar del sujeto. En tales casos, se forma un espacio entre el sujeto y la cara del extremo curvo, aumenta la distancia entre los sensores magnéticos y la médula espinal y resulta difícil detectar señales. Por consiguiente, es necesario mejorar aún más el tubo sensor con la cara del extremo curvo para adaptarse a un mayor número de sujetos.

Para un ajuste óptimo, se puede agregar al aparato de medición magnética un mecanismo oscilante para ajustar la inclinación del tubo sensor. Sin embargo, agregar un mecanismo oscilante aumenta en gran medida los costes del aparato de medición magnética, puede reducir la estabilidad y puede aumentar el ruido de vibración generado durante la medición del biomagnetismo. Asimismo, la adición de un mecanismo oscilante al aparato de medición magnética hace que sea imposible conectar el aparato de medición magnética a un sistema de enfriamiento criogénico que tenga la función de volver a condensar el helio vaporizado en líquido.

Tal como se ha descrito antes, es extremadamente difícil permitir que un aparato de medición magnética se conecte a un sistema de enfriamiento criogénico y mejorar al mismo tiempo la velocidad de detección de la señal. Asimismo, la inclinación puede ajustarse utilizando un mecanismo de ajuste de inclinación de una cama. Sin embargo, para mejorar la instalación de un aparato de medición magnética, la cama debe estar inclinada en una dirección para bajar la cabeza del sujeto. Por consiguiente, este enfoque puede poner en riesgo al sujeto y no es realista.

Divulgación de la invención

Problemas a resolver con la invención

La presente invención se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los problemas anteriores. Un propósito de la presente invención es proporcionar un aparato de medición magnética que tenga una tasa de detección de señal mejorada y pueda conectarse a un sistema de enfriamiento criogénico.

Medios para resolver los problemas

Un aparato de medición magnética según una realización incluye un soporte de inclinación que incluye una superficie de montaje y una superficie inclinada que está inclinada con respecto a la superficie de montaje, un criostato dispuesto en la superficie inclinada, un sistema de enfriamiento criogénico conectado al criostato, un tubo sensor conectado al criostato e incluye una superficie curvada que no se curva en una dirección predeterminada y se curva en una dirección ortogonal a la dirección predeterminada, de modo que sobresale un centro de la superficie curvada con respecto a los

bordes laterales de la superficie curvada, y un sensor magnético que mide el biomagnetismo y está alojado en el tubo sensor de manera que la superficie sensora del sensor magnético está orientada hacia la superficie curvada. La superficie sensora está inclinada con respecto a la superficie de montaje en una dirección que es igual a la dirección en la que está inclinada la superficie inclinada.

Efecto ventajoso de la invención

Una tecnología divulgada hace posible proporcionar un aparato de medición magnética que tiene una tasa de detección de señal mejorada y puede conectarse a un sistema de enfriamiento criogénico.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1A es una vista en perspectiva que ejemplifica un aparato de medición magnética según una realización;
La figura 1B es una vista lateral que ejemplifica un aparato de medición magnética según una realización;
La figura 2 es una vista en sección transversal que ejemplifica el interior de un tubo sensor de un aparato de medición magnética de acuerdo con una realización;
La figura 3 es una vista en perspectiva que ejemplifica un sensor magnético de un aparato de medición magnética de acuerdo con una realización;
La figura 4 es un dibujo que ilustra la medición de biomagnetismo utilizando un aparato de medición magnética según una realización;
La figura 5 es una vista en sección transversal que ilustra una relación entre una región cervical y un tubo sensor en la medición de biomagnetismo según un ejemplo comparativo; y
La figura 6 es una vista en sección transversal que ilustra una relación entre una región cervical y un tubo sensor en la medición de biomagnetismo según una realización.

Modo de llevar a cabo la invención

Se describen a continuación realizaciones de la presente invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos. En todos los dibujos adjuntos, se asigna el mismo número de referencia al mismo componente y se pueden omitir descripciones repetidas del componente.

La figura 1A es una vista en perspectiva que ejemplifica un aparato de medición magnética según una realización. La figura 1B es una vista lateral que ejemplifica el aparato de medición magnética según la realización. La figura 2 es una vista en sección transversal que ejemplifica el interior de un tubo sensor del aparato de medición magnética según la realización.

Tal como se ilustra en las figuras 1A, 1B y 2, un aparato de medición magnética 10 puede medir adecuadamente el débil magnetismo generado por un cuerpo vivo e incluye un soporte de inclinación 11, un criostato 12, un sistema de enfriamiento criogénico 13 y un tubo sensor 14. Un conjunto de sensores magnéticos 16 compuesto por múltiples sensores magnéticos 15 está alojado en el tubo sensor 14. El aparato de medición magnética 10 se describe en detalle a continuación.

El soporte de inclinación 11 incluye una superficie de montaje 11a y una superficie inclinada 11b, que está inclinada con respecto a la superficie de montaje 11a. La superficie de montaje 11a es una superficie plana que entra en contacto, por ejemplo, con una superficie del piso del lugar donde se usa el aparato de medición magnética 10. La superficie inclinada 11b es una superficie plana sobre la cual está dispuesto el criostato 12. Un ángulo de inclinación θ_1 (que en adelante se denominará simplemente "ángulo de inclinación θ_1) de la superficie inclinada 11b con respecto a la superficie de montaje 11a es un valor fijo, y no se proporciona ningún mecanismo de ajuste para ajustar el ángulo de inclinación θ_1. El ángulo de inclinación θ_1 se puede fijar en cualquier valor apropiado. Por ejemplo, el ángulo de inclinación θ_1 es mayor o igual a aproximadamente 10 grados y menor o igual a aproximadamente 20 grados.

El criostato 12 está dispuesto sobre la superficie inclinada 11b del soporte de inclinación 11. El criostato 12 también se conoce como "dewar" y contiene helio líquido, que es necesario para las operaciones criogénicas del conjunto de sensores magnéticos 16 que detecta el campo magnético generado por un cuerpo vivo.

El sistema de enfriamiento criogénico 13 vuelve a condensar el helio vaporizado en líquido y, a través de los canales de flujo 17, está conectado al criostato 12.

El tubo sensor 14 es una pieza que entra en contacto con un sujeto y que está conectado al criostato 12. En este ejemplo, el tubo sensor 14 sobresale horizontalmente de una superficie lateral del criostato 12. Sin embargo, la presente invención no se limita a este ejemplo.

El tubo sensor 14 incluye una superficie curvada 14a que no se curva en una dirección predeterminada (que en lo sucesivo se denominará "dirección x") y se curva en una dirección (que en lo sucesivo se denomina "dirección y") ortogonal a la dirección predeterminada de tal manera que el centro de la superficie curvada 14a sobresale con respecto a los bordes laterales. El ancho del tubo sensor 14 en la dirección y es, por ejemplo, mayor o igual a

aproximadamente 5 cm y menor o igual a aproximadamente 20 cm. Por ejemplo, la superficie curvada 14a se curva suavemente en la dirección y de manera que el centro de la superficie curvada 14a sobresale una distancia mayor o igual a 0,5 cm y menor o igual a 4 cm con respecto a los bordes laterales de la superficie curvada 14a.

El tubo sensor 14 incluye un recipiente interno 141 y un recipiente externo 142, y el conjunto de sensores magnéticos 16 está alojado en el recipiente interno 141. El conjunto de sensores magnéticos 16 está compuesto por múltiples sensores magnéticos 15 que están dispuestos de tal manera que las superficies sensora 15a de los sensores magnéticos 15 se orientan hacia la superficie curvada 14a. Por ejemplo, múltiples sensores magnéticos 15 están dispuestos en una fila en la dirección y y múltiples filas de los sensores magnéticos 15 están dispuestos en la dirección x.

En este caso, las posiciones de los sensores magnéticos 15 en filas adyacentes entre sí en la dirección x pueden desplazarse en las direcciones y. Por ejemplo, supongamos un caso en el que cinco sensores magnéticos 15 están dispuestos en un espacio p (por ejemplo, 20 mm) en la dirección y para formar una fila de sensores, y varias filas de sensores están dispuestas en un espacio w (por ejemplo, 20 mm) en la dirección x. En este caso, las posiciones de los sensores magnéticos 15 en las filas de sensores adyacentes entre sí en la dirección x pueden desplazarse p/2 en la dirección y.

Asimismo, los sensores magnéticos 15 pueden estar dispuestos de manera que la superficie sensora 15a de uno de los sensores magnéticos 15 cuya posición en el tubo sensor 14 esté más cerca del centro de la superficie curvada 14a en la dirección, sobresalga más hacia la superficie curvada 14a en comparación con la superficie sensora 15a de otro de los sensores magnéticos 15 que está situado más cerca de un borde lateral de la superficie curvada 14a. Esta disposición hace posible reducir las distancias entre las superficies sensora 15a de los sensores magnéticos 15 y una región de examen.

En el aparato de medición magnética 10, el tubo sensor 14 está conectado (o fijado) al criostato 12. Por consiguiente, cuando se coloca el criostato 12 en la superficie inclinada 11b del soporte de inclinación 11, la superficie sensora 15a de cada uno de los sensores magnéticos 15 alojados en el tubo sensor 14 está inclinada junto con el tubo sensor 14, con respecto a la superficie de montaje 11a del soporte de inclinación 11, en la misma dirección que la superficie inclinada 11b.

Un ángulo de inclinación θ_2 (que en adelante se denominará simplemente el "ángulo de inclinación θ_2") de la superficie sensora 15a de cada uno de los sensores magnéticos 15 con respecto a la superficie de montaje 11a del soporte de inclinación 11 se iguala, por ejemplo, al ángulo de inclinación θ_1. El ángulo de inclinación θ_2 es un valor fijo, y no se proporciona ningún mecanismo de ajuste para ajustar el ángulo de inclinación θ_2. El ángulo de inclinación θ_2 se puede fijar en cualquier valor apropiado, y es preferiblemente mayor o igual a 10 grados y menor o igual a 20 grados. En la figura 2, H indica un plano que es paralelo a la superficie de montaje 11a.

La figura 3 es una vista en perspectiva que ejemplifica un sensor magnético de un aparato de medición magnética de acuerdo con una realización. El sensor magnético 15 es un sensor magnético superconductor para medir el biomagnetismo y es, por ejemplo, un sensor SQUID. SQUID significa dispositivo superconductor de interferencia cuántica .

El sensor magnético 15 es un sensor cilíndrico que incluye un bloque cilíndrico de vidrio epoxi 151 en el que están dispuestos un SQUID 152a, un SQUID 152b y un SQUID 152c y un bloque cilíndrico 153 que está conectado al bloque cilíndrico 151 e incluye bobinas de recogida para los SQUID. La superficie superior del bloque cilíndrico 153 es la superficie sensora 15a. El diámetro de la superficie sensora 15a es, por ejemplo, de aproximadamente 20 mm.

La figura 4 es un dibujo que ilustra la medición del biomagnetismo utilizando un aparato de medición magnética según una realización. Haciendo referencia a la figura 4, el aparato de medición magnética 10 incluye una cama 21, una fuente de rayos X 22, una película fotográfica de rayos X 23 y un dispositivo de estimulación eléctrica 24.

La cama 21 es una cama no magnética sobre la que se coloca a un sujeto 500 de tal manera que una región de examen del sujeto 500 entra en contacto con la superficie curvada 14a del tubo sensor 14. La fuente de rayos X 22 y la película de fotografía de rayos X 23 constituyen una unidad de fotografía de rayos X que toma una fotografía de rayos X de un espacio que incluye un espacio sobre la superficie curvada 14a del tubo sensor 14 en la dirección x. El dispositivo de estimulación eléctrica 24 estimula eléctrica y percutáneamente los nervios objetivo del sujeto 500.

En la medición del biomagnetismo, la estimulación eléctrica se aplica al sujeto 500 usando el dispositivo de estimulación eléctrica 24, y la propagación de la actividad neuronal sincronizada con la estimulación eléctrica se mide mediante el conjunto de sensores magnéticos 16. La medición del biomagnetismo se realiza preferiblemente en una habitación blindada magnéticamente, y la fuente de rayos X 22 y la película de fotografía de rayos X 23, que generan ruido magnético, se mueven durante la medición preferiblemente fuera de la sala blindada magnéticamente. Sin embargo, esto no es esencial si no se genera ruido magnético. El sistema de enfriamiento criogénico 13 y el dispositivo de estimulación eléctrica 24 se colocan fuera de la habitación blindada magnéticamente.

La cama 21 incluye preferiblemente un mecanismo de ajuste de inclinación que puede ajustar el ángulo de la cama 21 solo en una dirección para reducir el ángulo de la región de examen del sujeto 500 con respecto a las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15. Incluso si se agrega dicho mecanismo de ajuste de inclinación a la cama 21, no se puede el ángulo de la cama 21 en una dirección para bajar la cabeza del sujeto 500 y, por lo tanto, el sujeto 500 no está en riesgo.

Como se describió anteriormente, el ángulo de inclinación θ_2 es preferiblemente mayor o igual a 10 grados y menor o igual a 20 grados. Cuando la superficie superior de la cama 21 es horizontal (o paralela a la superficie de montaje 11a), el ángulo de inclinación θ_2 es igual a un ángulo formado entre la región de examen del sujeto 500 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 en la dirección de cabeza y pie del sujeto 500.

Sin embargo, cuando el aparato de medición magnética 10 se usa como un magnetocardiógrafo, el ángulo formado entre la región de examen del sujeto 500 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 es preferiblemente de aproximadamente 0 grados. Por ejemplo, cuando el ángulo de inclinación θ_2 es de 15 grados, el ángulo entre la región de examen del sujeto 500 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 se puede ajustar a aproximadamente 0 grados levantando el lado de la cabeza ajustando el ángulo de la cama de 21 a -15 grados, usando el mecanismo de ajuste de inclinación. El mecanismo de ajuste de inclinación no está necesariamente configurado para inclinar toda la cama 21, y puede configurarse para levantar, por ejemplo, solo la parte superior del cuerpo.

La figura 5 es una vista en sección transversal que ilustra una relación entre una región cervical y un tubo sensor en la medición de biomagnetismo según un ejemplo comparativo. La figura 6 es una vista en sección transversal que ilustra una relación entre una región cervical y un tubo sensor en la medición de biomagnetismo según la presente realización. La región cervical es un ejemplo de una región de examen del sujeto 500.

En las figuras 5 y 6, 510 indica una región cervical. En la región cervical 510, 511 indica la médula espinal, C1 a C7 indican las espinas cervicales primera a séptima, y T1 y T2 indican la primera y la segunda espinas torácicas. Los procesos espinosos 512 de las espinas cervicales primera a séptima C1 a C7 y las espinas torácicas primera y segunda T1 y T2 se encuentran más cerca del tubo sensor 14. Asimismo, 520 indica una protuberancia occipital. Además, H indica un plano que es paralelo a la superficie de montaje 11a.

En la figura 5, un ángulo de inclinación de la superficie sensora 15a de cada uno de los sensores magnéticos 15 con respecto a la superficie de montaje 11a del soporte de inclinación 11 es de aproximadamente 0 grados, y el tubo sensor 14 no está inclinado con respecto al plano H. Con esta configuración, cuando la región cervical 510 es rígida y la amplitud de movimiento de la región cervical 510 es pequeña, se forma un espacio G entre el tubo sensor 14 y la región cervical 510, y aumenta la distancia entre la médula espinal 511 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15.

Suponiendo que el centro del conjunto de sensores magnéticos 16 está alineado con la quinta espina cervical C5, partes de la superficie curvada 14a del tubo sensor 14 entran en contacto con la séptima espina cervical C7, la apófisis espinosa 512 de la primera columna torácica T1 y la protuberancia occipital 520, y el tubo sensor 14 no se ajusta completamente a todas las espinas cervicales (la primera a la séptima espinas cervicales C1 a C7).

Como resultado, aumenta la distancia entre la médula espinal 511 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 orientados hacia las espinas cervicales. Si aumenta la distancia entre la médula espinal 511 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15, la tasa de detección de señales débiles propagadas a través de la médula espinal 511 disminuye considerablemente.

El centro del conjunto de sensores magnéticos 16 está alineado con la quinta espina cervical C5 para obtener datos de medición de biomagnetismo en una región alrededor de la quinta espina cervical C5, que está en el medio de la tercera a la séptima espinas cervicales, C3 a través de C7, donde a menudo se encuentra una lesión.

En la figura 6, el tubo sensor 14 está inclinado hacia el sujeto con referencia a la apófisis espinosa 512 de la séptima espina cervical C7. En otras palabras, la superficie sensora 15a de cada uno de los sensores magnéticos 15 está inclinada con respecto a la superficie de montaje 11a del soporte de inclinación 11 en la misma dirección que la superficie inclinada 11b del soporte de inclinación 11 (ángulo de inclinación θ_2). Inclinar correctamente el tubo sensor 14 (es decir, las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15) permite minimizar la influencia de la séptima espina cervical C7, la apófisis espinosa 512 de la primera espina torácica T1 y la protuberancia occipital 520, y de este modo hace posible disponer las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 a lo largo de la dirección en la que se extiende la médula espinal 511.

En la figura 6, la curvatura del tubo sensor 14, que se coloca alineando el centro del conjunto de sensores magnéticos 16 con la quinta espina cervical C5, generalmente coincide con la curvatura de la región cervical 510, y el tubo sensor 14 se ajusta mucho mejor a la región cervical 510 en comparación con la configuración de la figura 5. Por consiguiente, la distancia total entre la médula espinal 511 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15, orientados hacia las espinas cervicales, disminuye. Debido a que las señales propagadas a través de la médula espinal 511 son

débiles, el efecto de reducir la distancia entre la médula espinal 511 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 es significativo. Por tanto, comparada con la configuración de la figura 5, la configuración de la figura 6 hace posible mejorar en gran medida la tasa de detección de señales débiles propagadas a través de la médula espinal 511.

(EJEMPLOS Y EJEMPLOS COMPARATIVOS)

(Ejemplo comparativo 1)

En el Ejemplo comparativo 1, la medición se realizó usando un aparato de medición magnética 10x que incluye la cama 21, la fuente de rayos X 22, la película fotográfica de rayos X 23 y el dispositivo de estimulación eléctrica 24. El sistema de enfriamiento criogénico 13 y el dispositivo de estimulación eléctrica 24 se colocaron fuera de una habitación blindada magnéticamente, y otros componentes se colocaron en la habitación blindada magnéticamente. El aparato de medición magnética 10x es sustancialmente el mismo que el aparato de medición magnética 10, excepto que el aparato de medición magnética 10x no incluye el soporte de inclinación 11. Es decir, la superficie inferior del criostato 12 del aparato de medición magnética 10x está colocada directamente sobre una superficie horizontal, y el ángulo de inclinación de la superficie sensora 15a de cada uno de los sensores magnéticos 15 con respecto a la superficie horizontal es de 0 grados.

Como se ilustra en la figura 4, se colocó al sujeto 500 en decúbito supino sobre la cama horizontal 21 y la superficie curvada 14a del tubo sensor 14 se puso en contacto con la región cervical, de tal manera que el centro del conjunto de sensores magnéticos 16 estaba alineada sustancialmente con la quinta espina cervical C5.

En este estado, se tomaron imágenes de rayos X de 27 sujetos (con edades comprendidas entre 27 y 81), y se midió la distancia (que en adelante se denominará "distancia L") entre la pared posterior del cuerpo vertebral de la quinta espina cervical C5 y el extremo del sensor para cada uno de los sujetos en función de las imágenes de rayos X. La distancia L media fue de 114,4 mm, la distancia L mayor fue de 146 mm y la distancia L menor fue de 91 mm.

Asimismo, se realizó la medición del biomagnetismo de la región cervical. Específicamente, después de llevar la fuente de rayos X 22 y la película de fotografía de rayos X 23 fuera de la sala blindada magnéticamente, se estimuló eléctricamente el nervio mediano de una región cubital (con una corriente eléctrica de entre 3 mA y 15 mA) mediante el uso del Inspector de potencial evocado de electromiografía MEB-2306 de Nihon Kohden Corporation como dispositivo de estimulación eléctrica 24, y se sincronizó la actividad neural con la estimulación eléctrica y al propagarse a través del nervio se midió en la región cervical en función de las señales de salida del conjunto de sensores magnéticos 16. Se obtuvieron datos promedio de 2000 mediciones. Se detectaron señales de propagación débiles en 17 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 63,0 %.

(Ejemplo 1)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región cervical se realizaron de manera similar al Ejemplo comparativo 1, excepto que se usó el aparato de medición magnética 10, incluido el soporte de inclinación 11, en lugar del aparato de medición magnética 10x que no incluye el soporte de inclinación 11.

En el Ejemplo 1, se utilizó el soporte de inclinación 11 con un ángulo de inclinación θ_1 de 5 grados, y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 5 grados. Debido a que la superficie superior de la cama 21 es horizontal (o paralela a la superficie de montaje 11a), el ángulo de inclinación θ_2 se vuelve igual a un ángulo (que en adelante se denominará ángulo θ_3) formado entre una región de examen del sujeto 500 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15.

La distancia L media fue de 107,1 mm, la distancia L mayor fue de 151 mm y la distancia L menor fue de 93 mm. Así, la distancia L se redujo significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 1. En este caso, la reducción significativa de la distancia L indica la reducción significativa de la distancia entre la médula espinal 511 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 orientados hacia las espinas cervicales.

En la medición en la región cervical usando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 22 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 81,5 %. Por tanto, la tasa de detección mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 1.

(Ejemplo 2)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región cervical se realizaron de manera similar al Ejemplo 1, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 10 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 10 grados.

La distancia L media fue de 103,1 mm, la distancia L mayor fue de 121 mm, y la distancia L menor fue de 87 mm. Así, la distancia L se redujo aún más en comparación con el Ejemplo 1.

En la medición en la región cervical usando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 25 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 92,6 %. Por tanto, la tasa de detección de señal superó el 90 % y mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 1.

(Ejemplo 3)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región cervical se realizaron de manera similar al Ejemplo 1, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 15 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 15 grados.

La distancia L media fue de 101,1 mm, la distancia L mayor fue de 120 mm, y la distancia L menor fue de 87 mm. Así, la distancia L medida en el ejemplo 3 no difirió mucho de la medida en el ejemplo 2.

En la medición en la región cervical usando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 25 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 92,6 %. Por tanto, la tasa de detección de señal superó el 90 % y mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 1.

(Ejemplo 4)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región cervical se realizaron de manera similar al Ejemplo 1, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 20 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 20 grados.

La distancia L media fue de 100,1 mm, la distancia L mayor fue de 121 mm y la distancia L menor fue de 85 mm. Así, la distancia L medida en el Ejemplo 4 no difirió mucho de la medida en los Ejemplos 2 y 3.

En la medición en la región cervical usando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 25 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 92,6 %. Por tanto, la tasa de detección de señal superó el 90 % y mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 1.

(Ejemplo 5)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región cervical se realizaron de manera similar al Ejemplo 1, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 25 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 25 grados.

La distancia L media fue de 100,7 mm, la distancia L mayor fue de 121 mm, y la distancia L menor fue de 84 mm. Así, la distancia L medida en el ejemplo 5 no difirió mucho de la medida en los ejemplos 2, 3 y 4.

En la medición en la región cervical usando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 19 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 70,4 %. Esto indica que el sujeto 500 necesitaba adoptar una postura antinatural debido a la gran inclinación y no pudo mantener la postura durante la medición; y como resultado, la distancia entre el sujeto 500 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 aumentó y los sensores magnéticos 15 se volvieron incapaces de detectar señales.

(Ejemplo 6)

El ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 25 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 25 grados. Dedpués, utilizando el mecanismo de ajuste de inclinación de la cama 21, se ajustó el ángulo de inclinación de la cama 21 en una dirección para reducir la inclinación en 5 grados (en una dirección para levantar el lado de la cabeza del sujeto 500) para establecer el ángulo θ_3 a 20 grados. Excepto por estas condiciones, la fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región cervical se realizaron de manera similar al Ejemplo 1.

La distancia L media fue de 100,7 mm, la distancia L mayor fue de 124 mm, y la distancia L menor fue de 86 mm. Así, la distancia L medida en el ejemplo 6 no difirió mucho de la medida en los ejemplos 2, 3 y 4.

En la medición en la región cervical usando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 25 sujetos de 27 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 92,6 %. Por tanto, la tasa de detección fue sustancialmente la misma que en el Ejemplo 4.

(Ejemplo comparativo 2)

Se colocó al sujeto 500 en posición supina sobre la cama horizontal 21, y se puso en contacto la superficie curvada 14a del tubo sensor 14 con la región lumbar, de manera que el centro del conjunto de sensores magnéticos 16 se alineó sustancialmente con la quinta espina vertebral. Excepto por estas condiciones, la medición del biomagnetismo

se realizó de manera similar al Ejemplo Comparativo 1.

En la medición del biomagnetismo, la actividad neural sincronizada con la estimulación eléctrica y propagada a través del nervio se midió en la región lumbar utilizando el aparato de medición magnética 10x. Se obtuvieron datos promedio de 2000 mediciones. Se detectaron señales de propagación débiles en 12 sujetos de 26 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 46,2 %.

(Ejemplo 7)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región lumbar se realizaron de manera similar al Ejemplo Comparativo 2, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 5 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 5 grados.

En la medición en la región lumbar utilizando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 18 sujetos de 26 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 69,2 %. Por tanto, la tasa de detección mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 2.

(Ejemplo 8)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región lumbar se realizaron de manera similar al Ejemplo 7, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 10 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 10 grados.

En la medición en la región lumbar utilizando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 22 sujetos de 26 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 84,6 %. Por tanto, la tasa de detección de señal superó el 80 % y mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 2.

(Ejemplo 9)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región lumbar se realizaron de manera similar al Ejemplo 7, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 15 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 15 grados.

En la medición en la región lumbar utilizando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 23 sujetos de 26 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 88,5 %. Por tanto, la tasa de detección de señal superó el 80 % y mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 2.

(Ejemplo 10)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región lumbar se realizaron de manera similar al Ejemplo 7, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 20 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 20 grados.

En la medición en la región lumbar utilizando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 22 sujetos de 26 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 84,6 %. Por tanto, la tasa de detección de señal superó el 80 % y mejoró significativamente en comparación con el Ejemplo comparativo 2.

(Ejemplo 11)

La fotografía de rayos X y la medición del biomagnetismo de la región lumbar se realizaron de manera similar al Ejemplo 7, excepto que el ángulo de inclinación θ_1 se ajustó a 25 grados y el ángulo de inclinación θ_2 se ajustó a 25 grados.

En la medición en la región lumbar utilizando el aparato de medición magnética 10, se detectaron señales de propagación débiles en 18 sujetos de 26 sujetos, y la tasa de detección de señal fue del 69,2 %. Esto indica que el sujeto 500 necesitaba adoptar una postura antinatural debido a la gran inclinación y no pudo mantener la postura durante la medición; y como resultado, la distancia entre el sujeto 500 y las superficies sensoras 15a de los sensores magnéticos 15 aumentó y los sensores magnéticos 15 se volvieron incapaces de detectar señales.

<Sumario>

Los resultados de los ejemplos comparativos y los ejemplos se proporcionan en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1

	Región de examen	Ángulo de inclinación θ_1	Ángulo θ_3	N.º de sujetos	Recuento de detección	Tasa de detección
Ejemplo comparativo 1	Región cervical	-	0°	27	17	63,0 %
Ejemplo 1	Región cervical	5°	5°	27	22	81,5 %
Ejemplo 2	Región cervical	10°	10°	27	25	92,6 %
Ejemplo 3	Región cervical	15°	15°	27	25	92,6 %
Ejemplo 4	Región cervical	20°	20°	27	25	92,6 %
Ejemplo 5	Región cervical	25°	25°	27	19	70,4 %
Ejemplo 6	Región cervical	25°	20°	27	25	92,6 %
Ejemplo comparativo 2	Región lumbar	-	0°	26	12	46,2 %
Ejemplo 7	Región lumbar	5°	5°	26	18	69,2 %
Ejemplo 8	Región lumbar	10°	10°	26	22	84,6 %
Ejemplo 9	Región lumbar	15°	15°	26	23	88,5 %
Ejemplo 10	Región lumbar	20°	20°	26	22	84,6 %
Ejemplo 11	Región lumbar	25°	25°	26	18	69,2 %

Como se indica en la Tabla 1, independientemente de si la región de examen es la región cervical o la región lumbar, la tasa de detección de señal mejora en los casos en que el ángulo θ_3 es mayor o igual a 10 grados y menor o igual a 20 grados.

En este caso, los casos en que el ángulo θ_3 es mayor o igual a 10 grados y menor o igual a 20 grados corresponden a casos en los que el ángulo de inclinación θ_2 es mayor o igual a 10 grados y menor o igual a 20 grados y la cama 21 es horizontal. Asimismo, hay casos en los que el ángulo de inclinación θ_2 es mayor de 20 grados pero el ángulo θ_3 se ajusta mediante el mecanismo de ajuste de inclinación de la cama 21 para que sea mayor o igual a 10 grados y menor o igual a 20 grados.

Anteriormente se han descrito realizaciones preferidas. Sin embargo, la presente divulgación no se limita a las realizaciones divulgadas específicamente, y pueden realizarse variaciones y modificaciones sin apartarse del ámbito de la presente invención.

Por ejemplo, un aparato de medición magnética de la presente invención no se limita a un magnetospinografo que detecta una corriente eléctrica que fluye a través de la médula espinal como un campo magnético. Por ejemplo, se puede usar un aparato de medición magnética de la presente invención para un magnetoencefalografo o un magnetocardiógrafo.

Cuando se usan sensores magnéticos planos, que son cortos en una dirección ortogonal a sus superficies sensoras, no siempre es necesario inclinar las superficies sensoras de todos los sensores magnéticos en la misma dirección. Por ejemplo, cada sensor magnético puede estar dispuesto para extenderse a lo largo de la superficie curvada interna. En este caso, por ejemplo, se puede diseñar un aparato de medición magnética de manera que el ángulo de inclinación entre la superficie sensora de un sensor magnético central, que está dispuesto en el medio en la dirección y, y la superficie de montaje del soporte de inclinación se iguala al ángulo de inclinación entre la superficie inclinada del soporte de inclinación y la superficie de montaje.

La presente solicitud internacional se basa en, y reivindica el beneficio de la prioridad de la solicitud de patente japonesa n.º 2016-041406, presentada el 3 de marzo de 2016.

EXPLICACIÓN DE REFERENCIAS

10	Aparato de medición magnética
11	Soporte de inclinación
11a	Superficie de montaje
11b	Superficie inclinada
12	Criostato
13	Sistema de enfriamiento criogénico
14	Tubo sensor
14a	Superficie curva
15	Sensor magnético
15a	Superficie sensora
16	Conjunto de sensores magnéticos
17	Canal de flujo
21	Cama
22	Fuente de rayos X
23	Película de fotografía de rayos X
24	Dispositivo de estimulación eléctrica
141	Recipiente interior
142	Recipiente exterior
151, 153	Bloque cilíndrico
152a, 152b, 152c	SQUID

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de medición magnética (10), que comprende:

un soporte de inclinación (11) que incluye una superficie de montaje (11a) y una superficie inclinada (11b) que está inclinada con respecto a la superficie de montaje (11a);
un criostato (12) dispuesto en la superficie inclinada (11b);
un sistema de enfriamiento criogénico (13) conectado al criostato (12);
un tubo sensor (14) conectado al criostato (12) y que incluye una superficie curvada (14a) que no se curva en una dirección predeterminada y se curva en una dirección ortogonal a la dirección predeterminada de modo que un centro de la superficie curvada (14a) sobresale con respecto a los bordes laterales de la superficie curvada (14a); y
un sensor magnético (15) que mide el biomagnetismo, estando alojado el sensor magnético (15) en el tubo sensor (14) de modo que una superficie sensora del sensor magnético (15) está orientada hacia la superficie curvada (14a),
en donde la superficie del sensor (15a) está inclinada con respecto a la superficie de montaje (11a) en una dirección que es igual a la dirección en la que la superficie inclinada (11b) está inclinada.

2. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 1, en el que un ángulo de inclinación de la superficie sensora (15a) con respecto a la superficie de montaje (11a) es igual a un ángulo de inclinación de la superficie inclinada (11b) con respecto a la superficie de montaje (11a).

3. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 1, en el que
el sensor magnético (15) comprende múltiples sensores magnéticos (15) que miden el biomagnetismo, estando los sensores magnéticos (15) alojados en el tubo sensor (14) de manera que la superficie sensora (15a) de cada uno de los sensores magnéticos (15) está orientada hacia la superficie curvada (14a); y
la superficie sensora (15a) de cada uno de los sensores magnéticos (15) está inclinada con respecto a la superficie de montaje (11a) en la dirección que es la misma en la que está inclinada la superficie inclinada (11b).

4. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 3, en el que un ángulo de inclinación de la superficie sensora (15a) de cada uno de los sensores magnéticos (15) con respecto a la superficie de montaje (11a) es igual a un ángulo de inclinación de la superficie inclinada (11b) con respecto a la superficie de montaje (11a).

5. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 3, en el que la superficie sensora (15a) de uno de los sensores magnéticos (15) cuya posición en el tubo sensor (14) está más cerca del centro de la superficie curvada (14a) en la dirección ortogonal a la dirección predeterminada sobresale más hacia la superficie curvada (14a) en comparación con la superficie sensora (15a) de otro de los sensores magnéticos (15) que está situado más cerca de uno de los bordes laterales de la superficie curvada (14a).

6. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 2, en el que los ángulos de inclinación son mayores o iguales a 10 grados y menores o iguales a 20 grados.

7. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 1, en el que se fija un ángulo de inclinación de la superficie sensora (15a) con respecto a la superficie de montaje (11a).

8. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 1, que comprende, además:

una unidad de fotografía de rayos X que toma una fotografía de rayos X de un espacio que incluye un espacio sobre la superficie curvada (14a); y
un dispositivo de estimulación eléctrica (24) que aplica percutáneamente una corriente eléctrica a un sujeto para estimular un nervio objetivo.

9. El aparato de medición magnética (10) según la reivindicación 8, en el que el sensor magnético (15) mide la propagación de la actividad neuronal que está sincronizada con la estimulación.

10. El aparato de medición magnética según la reivindicación 1, que comprende, además:

una cama en la que se coloca a un sujeto de manera que una región de examen del sujeto entre en contacto con la superficie curvada,
en donde la cama incluye un mecanismo de ajuste de inclinación configurado para ajustar un ángulo de la cama en una dirección para reducir un ángulo de la región de examen con respecto a la superficie sensora (15a).

FIG.1A

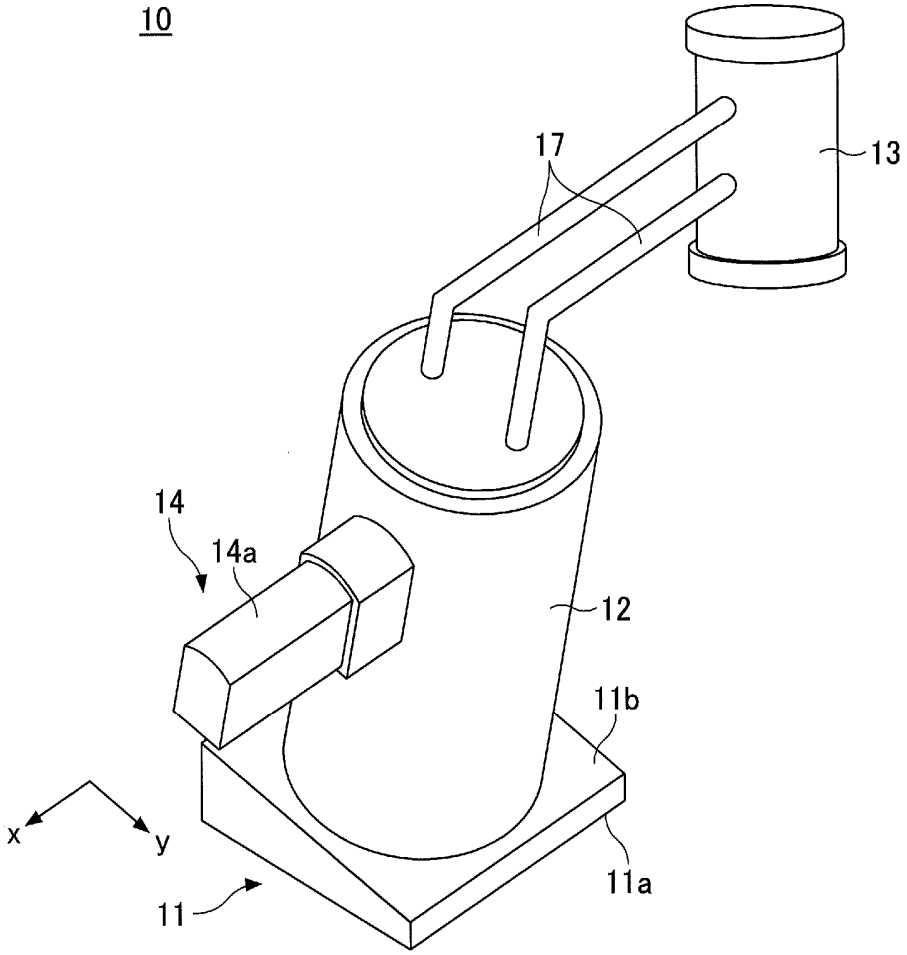


FIG.1B

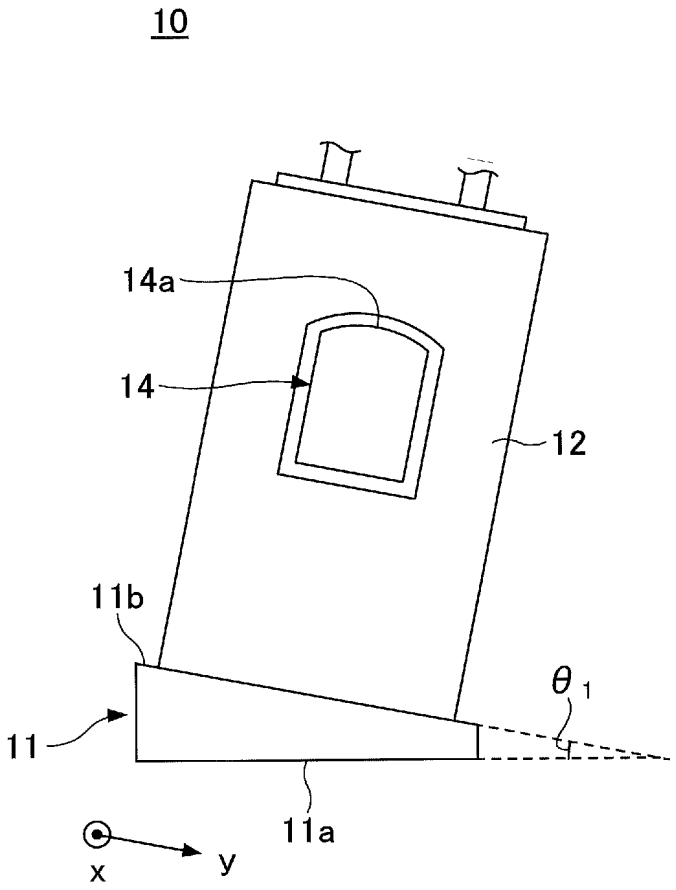


FIG.2

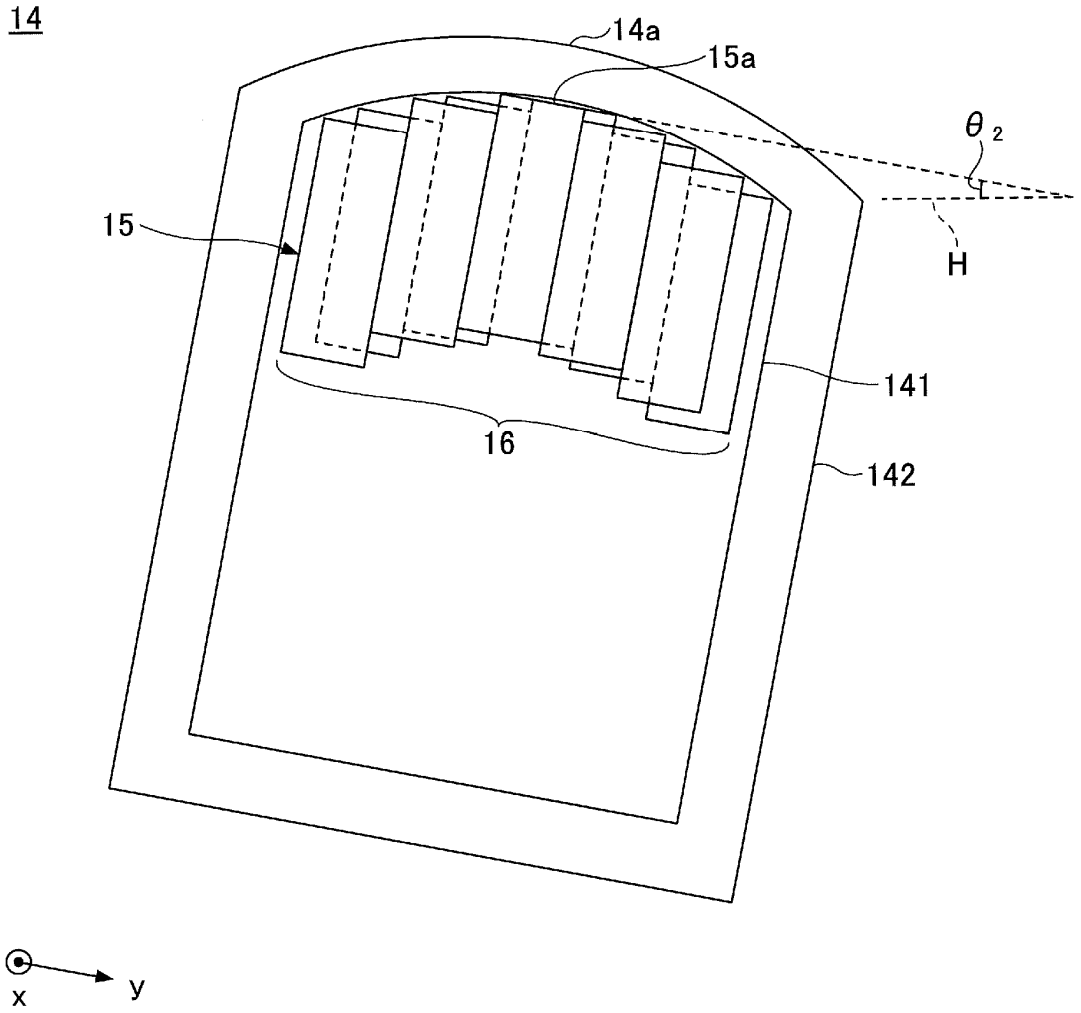


FIG.3

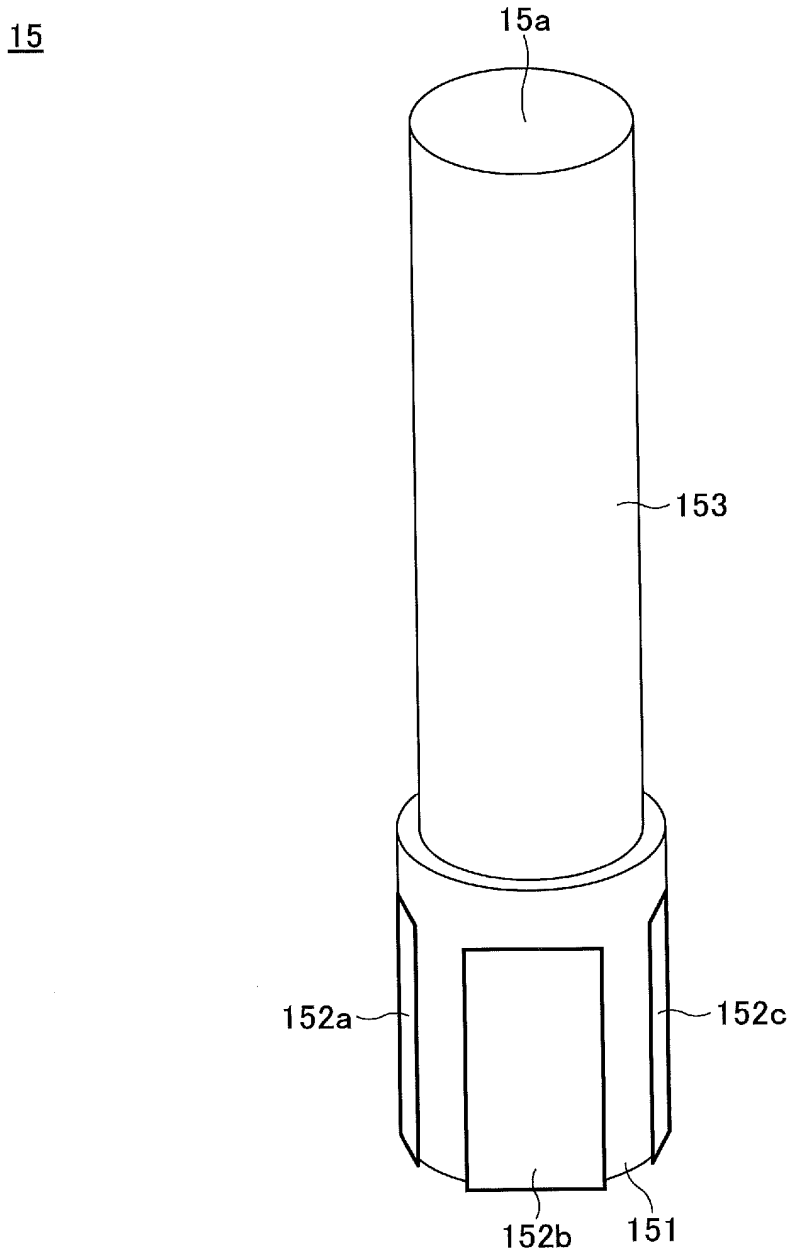


FIG.4

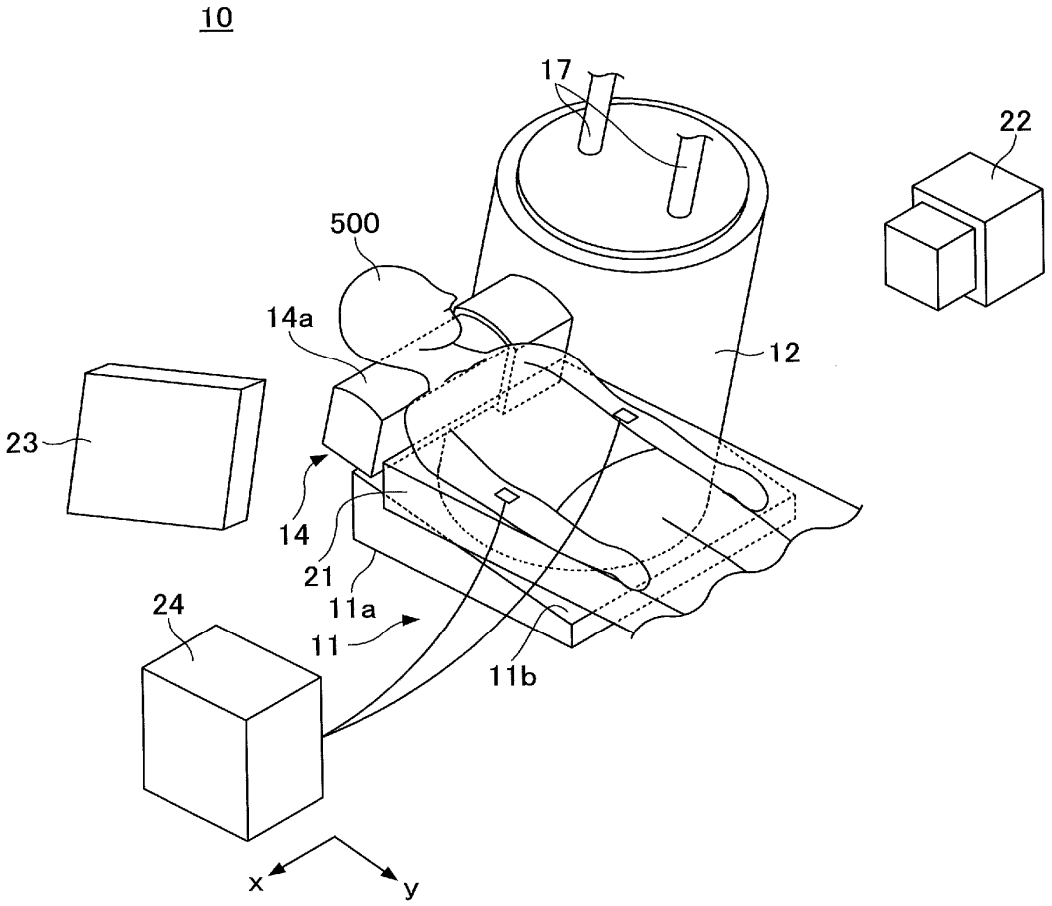


FIG.5

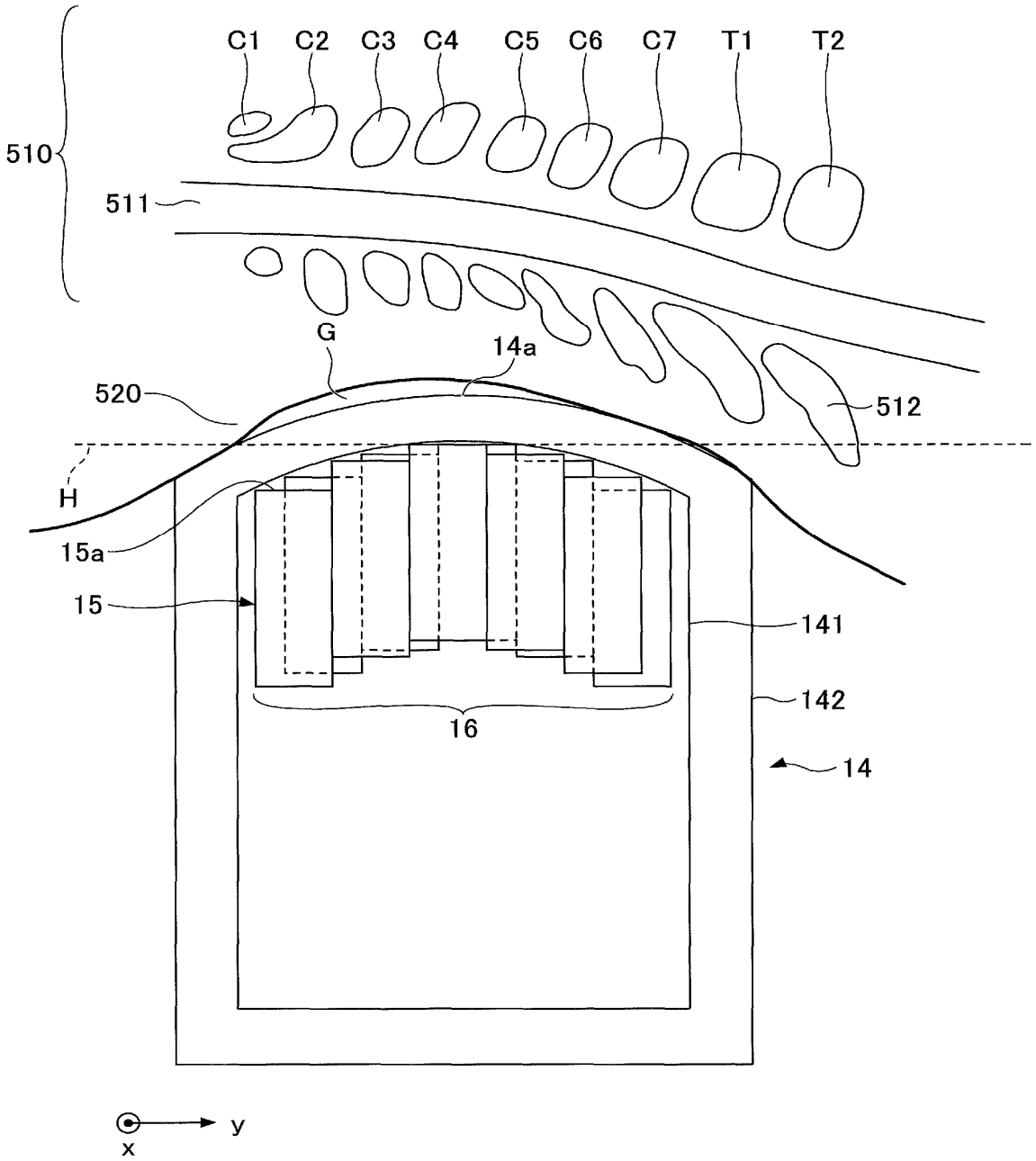
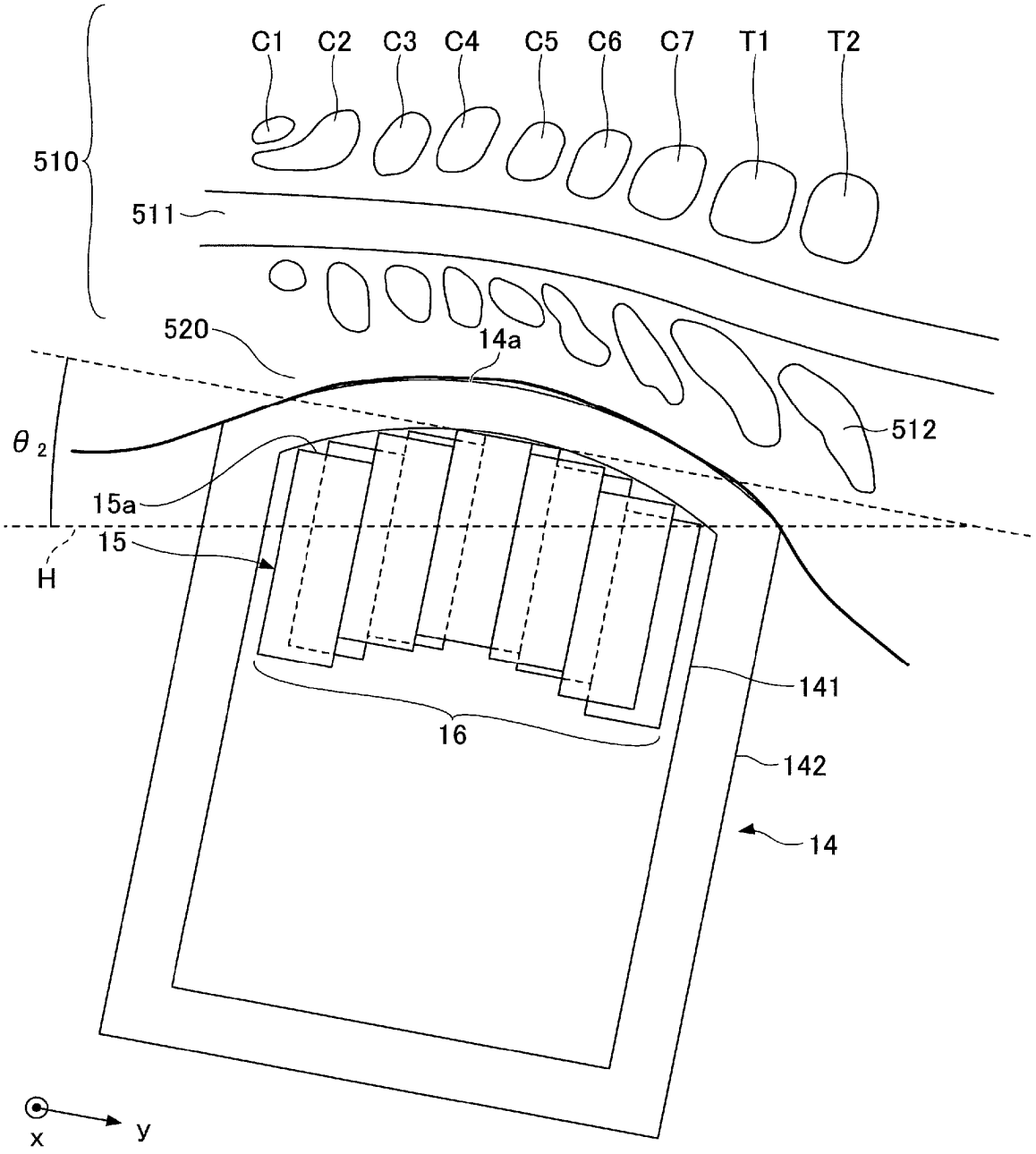

C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
T1
T2
510
511
G
14a
520
512
H
15a
15
141
142
16
14
y
x

FIG.6


C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
T1
T2
510
511
520
14a
512
θ2
15a
15
H
141
16
142
14
x
y