

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 833**

51 Int. Cl.:

**A61N 1/04** (2006.01)

**A61N 1/36** (2006.01)

**A61B 5/00** (2006.01)

**A61N 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.01.2017 PCT/IL2017/050028**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.07.2017 WO17122195**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.01.2017 E 17702959 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 3402564**

54 Título: **Monitorización de la impedancia durante la electroestimulación**

30 Prioridad:

**11.01.2016 US 201614992046**

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

**19.11.2020**

73 Titular/es:

**THERANICA BIO-ELECTRONICS LTD. (100.0%)  
45 Ha-Melakha Street  
4250574 Netanya, IL**

72 Inventor/es:

**HARPAK, AMNON y  
HIZI, UZI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 794 833 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**

Monitorización de la impedancia durante la electroestimulación

**Referencia cruzada a aplicaciones relacionadas**

5 La presente solicitud reivindica prioridad y es una continuación en parte de la solicitud de patente estadounidense n.º 14/992.046 concedida a Harpak, presentada el 11 de enero de 2016, titulada "Impedance monitoring during electrostimulation".

**Campo de la invención**

La presente invención se refiere a procedimientos médicos, y específicamente a la electroestimulación de tejido.

**Antecedentes**

10 La estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS) es el uso de corriente eléctrica producida por un dispositivo para estimular los nervios con fines terapéuticos. La estimulación muscular eléctrica (EMS), también conocida como estimulación eléctrica neuromuscular (NMES) o electromioestimulación, consiste en provocar la contracción muscular usando impulsos eléctricos.

15 La patente estadounidense 8,620,434 describe un dispositivo y un método para aplicar la estimulación nerviosa eléctrica transcutánea a través de un electrodo. El dispositivo incluye el electrodo dispuesto para detectar un cambio de una impedancia de la piel y configurado para cambiar de un modo de funcionamiento de estimulación para estimular el nervio, a un modo de funcionamiento de recalibración tras la detección de la impedancia de la piel cambiada. El dispositivo puede incluir una pluralidad de electrodos configurados para detectar el cambio de la impedancia de la piel y configurados para ajustar una corriente eléctrica que fluye a través de la piel por medio de la pluralidad de electrodos.

20 La publicación de la solicitud de patente estadounidense 2004/0015212 describe características de funcionamiento mejoradas para un dispositivo de electroterapia que se proporcionan mediante el uso de un sistema de detección de desprendimiento que monitoriza el funcionamiento del dispositivo y proporciona la acción correctiva necesaria cuando sea apropiado. Más específicamente, el dispositivo de electroterapia monitoriza las características de conexión de los electrodos, para determinar si se mantienen conexiones aceptables para el paciente. Para monitorizar estas conexiones, se realiza una medición de señal de nivel inicial cuando se inicia el sistema por primera vez. Las mediciones posteriores se comparan después con esta medición de nivel inicial, para garantizar que la magnitud se mantenga dentro de un intervalo aceptable. Si la medición muestra una condición de conexión no aceptable, el dispositivo de electroterapia se apaga y se proporcionan señales de advertencia apropiadas al usuario.

25 Cuando se usan múltiples canales de salida, se incluyen circuitos de aislamiento en la red de retroalimentación para garantizar que no exista acoplamiento de señales.

30 Un artículo de Degen y Loeliger, titulado "An improved Method to continuously monitor the Electrode-Skin Impedance during Bioelectric Measurements", publicado en las Actas de la 29ª Conferencia Internacional Anual del IEEE EMBS, 2007, describe un método que permite monitorizar la impedancia electrodo-piel durante los registros bioeléctricos de forma continua, sin reducir la relación de rechazo al modo común (CMRR) del amplificador. El método se basa en una señal de modo común adicional que se superpone a la señal bioeléctrica.

35 La patente estadounidense 6,217,574 describe un sistema de ablación de RF que comprende un catéter de electrodo de punta dividida irrigada, un generador de RF y un procesador de señales. El catéter comprende cuatro electrodos dispuestos ortogonalmente en la punta distal. El catéter se usa para mapear la actividad eléctrica de una cámara cardíaca para ubicar el/los sitio(s) de rutas eléctricas aberrantes que van a someterse a ablación. Una vez que se ha localizado un sitio de ablación, el procesador de señales activa el generador de RF para transmitir una corriente de RF de bajo nivel a cada elemento de electrodo del electrodo de punta dividida. El procesador de señales recibe señales indicativas de la impedancia entre cada elemento de electrodo y uno o más electrodos de superficie indiferentes y determina qué elementos de electrodo están asociados con la impedancia más alta. Tales elementos

40 de electrodo son aquellos en mayor contacto con el miocardio. El procesador de señales activa entonces automáticamente el generador de RF para transmitir una corriente de ablación de RF a los elementos de electrodo en contacto con el miocardio para crear una lesión.

**Resumen de realizaciones**

45 La invención está definida por la reivindicación independiente. En lo que sigue, cualquier aspecto, ejemplo y realización que no se encuentra dentro del alcance de la reivindicación independiente no forma parte de la invención.

Se proporciona, según algunas aplicaciones de la presente invención, un aparato para su uso con (i) un conjunto de circuitos de estimulación que incluye un par de electrodos, y (ii) un conjunto de circuitos de medición, incluyendo el aparato:

un controlador que incluye:

al menos una interfaz configurada para acoplar el controlador al conjunto de circuitos de estimulación y al conjunto de circuitos de medición; y

5 un conjunto de circuitos de controlador, configurado, mientras los electrodos están acoplados a la piel de un sujeto, para:

ejecutar un procedimiento de estimulación al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre el par de electrodos.

activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos, siendo los impulsos de referencia diferentes de cada uno de los impulsos de estimulación,

10 recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, una impedancia entre los electrodos que se mide usando los impulsos de referencia, y

en respuesta a la impedancia medida usando los impulsos de referencia, pero no en respuesta a ninguna impedancia medida usando los impulsos de estimulación, controlar el procedimiento de estimulación.

15 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la impedancia medida al ajustar una amplitud de los impulsos de estimulación.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la impedancia medida al generar una alerta indicativa de un ajuste requerido para el acoplamiento de los electrodos a la piel.

20 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia simétricos.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia asimétricos.

25 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de control está configurado para recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, la impedancia entre los electrodos que se mide usando los impulsos de referencia al recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, una tensión entre el par de electrodos durante el paso de los impulsos de referencia.

30 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de control está configurado para recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, la impedancia entre los electrodos que se mide usando los impulsos de referencia al recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, una corriente entre el par de electrodos durante el paso de los impulsos de referencia.

35 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar la pluralidad de impulsos de estimulación entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación regulados por corriente.

40 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar la pluralidad de impulsos de estimulación entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación regulados por tensión.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la impedancia medida al controlar una tensión suministrada que se usa para hacer pasar los impulsos de estimulación entre el par de electrodos.

45 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para sustituir al menos un impulso del procedimiento de estimulación por uno de los impulsos de referencia.

50 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia sin sustituir ningún impulso del procedimiento de estimulación por uno de los impulsos de referencia.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos

de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una amplitud que varía menos que una amplitud de al menos uno de los impulsos de estimulación.

5 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre los electrodos durante el procedimiento de estimulación.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la impedancia medida al detener el procedimiento de estimulación.

10 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de referencia entre los respectivos pares de impulsos de estimulación.

15 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar la pluralidad de impulsos de referencia a intervalos regulares.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para:

recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, una impedancia de nivel inicial entre los electrodos y una impedancia posterior entre los electrodos, y

20 controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la comparación de la impedancia posterior con un umbral que se basa en la impedancia de nivel inicial.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado además para ajustar adaptativamente el umbral durante el procedimiento de estimulación.

25 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno de los impulsos de referencia antes del procedimiento de estimulación, midiéndose la impedancia de nivel inicial usando el impulso de referencia que se hace pasar antes del procedimiento de estimulación.

30 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el impulso de referencia antes del procedimiento de estimulación usando una primera tensión suministrada que es menor que una segunda tensión suministrada que se usa para hacer pasar los impulsos de estimulación entre el par de electrodos.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una amplitud menor que una amplitud de al menos uno de los impulsos de estimulación.

35 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una corriente que es de menos de 15 mA.

40 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una corriente que es de menos de 10 mA.

45 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una corriente que es de menos de 5 mA.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una tensión que es de menos de 15 V.

50 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una tensión que es de menos de 9 V.

En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos

de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una duración más corta que una duración de al menos uno de los impulsos de estimulación.

5 En algunas aplicaciones, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia que tiene una duración de menos de 25 microsegundos.

Se proporciona, además, según algunas aplicaciones de la presente invención, un método, que incluye:

10 ejecutar un procedimiento de estimulación, haciendo pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre un par de electrodos acoplados a la piel de un sujeto;

hacer pasar uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos, siendo los impulsos de referencia diferentes de cada uno de los impulsos de estimulación;

medir una impedancia entre los electrodos, usando los impulsos de referencia; y

15 en respuesta a la impedancia medida usando los impulsos de referencia, pero no en respuesta a ninguna impedancia medida usando los impulsos de estimulación, controlar el procedimiento de estimulación.

Se proporciona adicionalmente, según algunas aplicaciones de la presente invención, un controlador para su uso con (i) un conjunto de circuitos de estimulación que incluye un par de electrodos, y (ii) un conjunto de circuitos de medición, incluyendo el controlador:

20 al menos una interfaz configurada para acoplar el controlador al conjunto de circuitos de estimulación y al conjunto de circuitos de medición; y

un conjunto de circuitos de controlador, configurado para, mientras los electrodos están acoplados a la piel de un sujeto:

a través de la interfaz:

25 ejecutar un procedimiento de estimulación al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre el par de electrodos.

activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos, siendo los impulsos de referencia diferentes de cada uno de los impulsos de estimulación, y

recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, una impedancia entre los electrodos que se mide usando los impulsos de referencia, y

30 en respuesta a la impedancia medida usando los impulsos de referencia, pero no en respuesta a ninguna impedancia medida usando los impulsos de estimulación, controlar el procedimiento de estimulación.

Se proporciona, además, según algunas aplicaciones de la presente invención, un aparato que incluye:

un conjunto de circuitos de estimulación que comprende un par de electrodos,

un conjunto de circuitos de medición; y

35 un controlador, comprendiendo el controlador:

al menos una interfaz configurada para acoplar el controlador al conjunto de circuitos de estimulación y al conjunto de circuitos de medición; y

un conjunto de circuitos del controlador, configurado, mientras los electrodos están acoplados a la piel de un sujeto para:

40 ejecutar un procedimiento de estimulación al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre el par de electrodos.

activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos, siendo los impulsos de referencia diferentes de cada uno de los impulsos de estimulación,

45 recibir, desde el conjunto de circuitos de medición, una impedancia entre los electrodos que se mide usando los impulsos de referencia, y

en respuesta a la impedancia medida usando los impulsos de referencia, pero no en respuesta a ninguna

impedancia medida usando los impulsos de estimulación, controlar el procedimiento de estimulación.

La presente invención se entenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones de la misma, tomada junto con los dibujos, en los que:

**Breve descripción de los dibujos**

5 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema para aplicar y monitorizar la impedancia durante la electroestimulación, según algunas realizaciones de la presente invención;

la figura 2 es una ilustración esquemática de varias secuencias de impulsos que pueden hacerse pasar entre electrodos, según algunas realizaciones de la presente invención;

10 la figura 3 es un diagrama de circuito esquemático del conjunto de circuitos de estimulación acoplados (por ejemplo, unidos) a la piel de un sujeto, según algunas realizaciones de la presente invención; y

la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un método para electroestimulación puesto en práctica según algunas realizaciones de la presente invención.

**Descripción detallada de realizaciones**

Visión general

15 En los procedimientos de electroestimulación, al menos dos electrodos se acoplan (por ejemplo, se unen) a la piel del sujeto, y posteriormente, se hacen pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre los electrodos. En la estimulación regulada por corriente, se hace pasar una cantidad predefinida de corriente entre los electrodos durante cada uno de los impulsos de estimulación. En la estimulación regulada por tensión, se aplica una cantidad predefinida de tensión entre los electrodos durante cada uno de los impulsos de estimulación.

20 En algunos casos, puede que los electrodos no se acoplen (por ejemplo, se unan) correctamente a la piel antes del procedimiento. Alternativa o adicionalmente, los electrodos pueden desacoplarse al menos parcialmente de la piel, o cortocircuitarse entre sí, durante el procedimiento, por ejemplo, debido al movimiento del sujeto o a la degradación del material adhesivo que mantiene los electrodos acoplados a la piel. Tal escenario puede conducir a un consumo de energía ineficiente y/o a disminuir la eficacia de la estimulación. Por ejemplo, si la impedancia entre los electrodos es mayor de lo normal debido al acoplamiento incorrecto de los electrodos a la piel, puede ser necesario, para la estimulación regulada por corriente, aumentar la tensión suministrada que suministra la corriente de estimulación, consumiendo así más energía de lo que de otro modo sería necesario. Para la estimulación regulada por tensión, el aumento de la impedancia puede hacer que pase una menor cantidad de corriente entre los electrodos, disminuyendo así la eficacia de la estimulación.

30 A la luz de lo anterior, puede ser ventajoso, antes y/o durante el procedimiento de estimulación, medir la impedancia entre los electrodos, de modo que, si la impedancia medida se desvía de un umbral particular, puede ajustarse el acoplamiento (por ejemplo, la unión) de los electrodos a la piel. Para medir la impedancia, la tensión entre los electrodos puede medirse mientras se hace pasar una corriente de amplitud conocida entre los electrodos. Alternativamente, la corriente entre los electrodos puede medirse mientras se aplica una tensión de amplitud conocida entre los electrodos.

35 Una implementación de la medición de impedancia descrita anteriormente es medir la tensión o la corriente entre los electrodos mientras se hacen pasar los impulsos de estimulación entre los electrodos. Sin embargo, los parámetros de impulso que son adecuados para la estimulación no son necesariamente adecuados para la medición de la impedancia, y viceversa. Por ejemplo, en muchos casos, la amplitud de los impulsos de estimulación varía con el tiempo de manera "intraimpulso" y/o "interimpulso", lo que dificulta el uso de los impulsos de estimulación para medir con precisión la impedancia. Es decir, al menos algunos de los impulsos de estimulación pueden tener una amplitud variable, y/o las amplitudes respectivas de los impulsos de estimulación pueden variar durante el procedimiento de estimulación, cuando el sujeto intenta encontrar su "zona de confort".

45 A la luz de lo anterior, las realizaciones de la presente invención proporcionan una implementación mejorada, en la que se hacen pasar uno o más impulsos de referencia entre los electrodos, además de los impulsos de estimulación. Los impulsos de referencia, pero no los impulsos de estimulación, se usan para medir la impedancia, mientras que los impulsos de estimulación, pero normalmente no los impulsos de referencia se usan para la estimulación. Los parámetros tales como la amplitud, duración y frecuencia del impulso pueden "adaptarse" de manera diferente para cada tipo de impulso, lo que facilita la estimulación eficaz y la monitorización de la impedancia. Por ejemplo, en algunas realizaciones de la presente invención, la amplitud de los impulsos de referencia varía menos en el tiempo que la de los impulsos de estimulación (y de hecho, a menudo se fija a un valor constante), permitiendo así que los impulsos de referencia se usen para medir con precisión la impedancia entre los electrodos.

**Descripción del sistema**

Inicialmente se hace referencia a la figura 1, que es un diagrama de bloques de un sistema 20 para aplicar y

monitorizar la impedancia durante la electroestimulación, según algunas realizaciones de la presente invención. El sistema 20 comprende un controlador 22 (por ejemplo, un controlador programable configurado para ejecutar, por ejemplo, microcódigo), un conjunto 24 de circuitos de estimulación que comprende al menos un par de electrodos 26a y 26b, y un conjunto 28 de circuitos de medición. El controlador 22 comprende al menos una interfaz 62 (por ejemplo, una interfaz eléctrica, tal como un enchufe o toma de corriente) que acopla el controlador al conjunto 24 de circuitos de estimulación y al conjunto 28 de circuitos de medición, y además comprende el conjunto 64 de circuitos de controlador.

Los electrodos 26a y 26b se acoplan (por ejemplo, se unen) a la piel del sujeto que va a electroestimularse. Posteriormente, para ejecutar el procedimiento de estimulación, el conjunto 64 de circuitos de controlador activa el conjunto 24 de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre los electrodos. Como se describe adicionalmente más adelante en el presente documento, el conjunto 64 de circuitos de controlador también puede activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia entre el par de electrodos antes y/o durante el procedimiento de electroestimulación, siendo los impulsos de referencia diferentes de cada uno de los impulsos de estimulación. Durante la aplicación de los impulsos de referencia, pero no durante la aplicación de los impulsos de estimulación, el conjunto de circuitos de controlador activa el conjunto 28 de circuitos de medición para medir una tensión o corriente entre los electrodos. El conjunto de circuitos de medición hace pasar la tensión o corriente medida al conjunto de circuitos de controlador, que luego usa la cantidad del conjunto de circuitos de medición para medir la impedancia entre los electrodos. De esta manera, los impulsos de referencia, pero no los impulsos de estimulación, se usan para medir la impedancia. En cualquier caso, aunque algunas impedancias se miden usando los impulsos de estimulación, el conjunto de circuitos de controlador controla el procedimiento de estimulación en respuesta a la(s) impedancia(s) medida(s) usando los impulsos de referencia, pero no en respuesta a ninguna impedancia medida usando los impulsos de estimulación.

Normalmente, al menos uno de los impulsos de referencia se usa para medir una impedancia de nivel inicial entre los electrodos. Este impulso de referencia puede hacerse pasar antes del procedimiento de estimulación (después de acoplar los electrodos a la piel), o durante el procedimiento (por ejemplo, cerca del comienzo del procedimiento). Posteriormente, durante el procedimiento, se usa al menos un impulso de referencia para medir una impedancia posterior entre los electrodos que, para facilitar la descripción, se denomina a continuación la "impedancia intraprocedimiento". La impedancia intraprocedimiento puede compararse con un umbral que se basa en la impedancia de nivel inicial y, en respuesta a esto, puede controlarse el procedimiento de estimulación. Por ejemplo, si la impedancia intraprocedimiento se desvía del umbral, el conjunto de circuitos de controlador puede generar una alerta que indica que es necesario ajustar el acoplamiento de los electrodos a la piel. (En algunas realizaciones, el conjunto de circuitos de controlador genera la alerta al activar de forma inalámbrica o por cable un teléfono 66 inteligente del sujeto para mostrar un mensaje apropiado al sujeto). Además de recibir la alerta, el sujeto puede ajustar el acoplamiento (por ejemplo, la unión) de los electrodos a la piel, por ejemplo, volviendo a aplicar material adhesivo a la interfaz electrodo-piel para al menos uno de los electrodos.

En algunas realizaciones, si la impedancia intraprocedimiento se desvía del umbral, el conjunto de circuitos de controlador detiene el procedimiento de estimulación, alternativa o adicionalmente para generar la alerta. Mientras se detiene el procedimiento de estimulación, puede ajustarse el acoplamiento (por ejemplo, la unión) de los electrodos a la piel y, posteriormente, puede reiniciarse el procedimiento de estimulación.

El umbral descrito anteriormente puede ser, por ejemplo, un intervalo de valores que tienen un límite inferior que es ligeramente menor que la impedancia de nivel inicial, y un límite superior que es ligeramente mayor que la impedancia de nivel inicial, de modo que se considera que la impedancia intraprocedimiento se desvía del umbral si es mayor que el límite superior o menor que el límite inferior. Alternativamente, el umbral puede ser un valor único (por ejemplo, la impedancia de nivel inicial más o menos algún margen), y puede considerarse que la impedancia intraprocedimiento se desvía del umbral si es mayor que el umbral, o alternativamente, si es menor que el umbral.

En algunas realizaciones, el umbral se ajusta adaptativamente durante el procedimiento de estimulación. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el umbral se reduce periódicamente durante el procedimiento de estimulación, para tener en cuenta la disminución esperada de la impedancia durante el procedimiento producida por la sudoración del sujeto. Alternativa o adicionalmente, el umbral puede ajustarse en respuesta a cualquier otro factor relevante.

Alternativa o adicionalmente, en respuesta a la medición de la impedancia de nivel inicial y/o intraprocedimiento entre los electrodos, puede ajustarse la amplitud de los impulsos de estimulación. Por ejemplo, la amplitud de la corriente de estimulación puede fijarse como una función creciente de la impedancia medida, ya que una mayor impedancia puede ser indicativa de una mayor cantidad de grasa corporal en el sujeto, lo que a su vez indica que es necesaria una corriente más fuerte para llegar al nervio o músculo del sujeto. Normalmente, el conjunto de circuitos de controlador está configurado para diferenciar una impedancia estable, alta pero normal, de una impedancia anómalamente alta y/o creciente. Para el primer tipo de impedancia, el conjunto de circuitos de controlador normalmente ajusta la amplitud de los impulsos de estimulación, tal como acaba de describirse antes. Por otro lado, para el segundo tipo de impedancia, el conjunto de circuitos de controlador normalmente genera una alerta y/o detiene el procedimiento, tal como se describió anteriormente.

Ahora se hace referencia a la figura 2, que es una ilustración esquemática de varias secuencias de impulsos que pueden hacerse pasar entre los electrodos 26a y 26b, según algunas realizaciones de la presente invención. Los impulsos mostrados en la figura 2 pueden ser impulsos de tensión usados para estimulación regulada por tensión, o alternativamente, impulsos de corriente usados para estimulación regulada por corriente. (Por tanto, las unidades de los ejes verticales pueden ser cualquier unidad apropiada para tensión o corriente).

La primera secuencia 30a es una secuencia de impulsos 32 de estimulación, que pueden hacerse pasar entre los electrodos mientras se ejecuta un procedimiento de estimulación. Como se muestra en la figura, los impulsos 32 de estimulación tienen amplitudes intrainpulso variables, de modo que puede ser difícil usar los impulsos de estimulación para medir la impedancia entre los electrodos. (Como se señaló anteriormente, los impulsos de estimulación también pueden variar de una manera interimpulso, de modo que un impulso particular puede tener una amplitud diferente de la de un impulso adyacente). Por lo tanto, en las realizaciones de la presente invención, se usa una secuencia tal como la segunda secuencia 30b o la tercera secuencia 30c, cada una de las cuales incluye una pluralidad de impulsos 34 de referencia entre pares respectivos de impulsos de estimulación, en lugar de la primera secuencia 30a.

Los impulsos 34 de referencia normalmente tienen una amplitud que varía menos que la amplitud de los impulsos de estimulación. Por ejemplo, como se muestra en la figura 2, cada impulso de referencia puede tener una amplitud positiva (“+va”) constante (es decir, “plana”) y una amplitud negativa (“-va”) constante. Por lo tanto, como se indicó anteriormente, pueden usarse más fácilmente los impulsos 34 de referencia, en lugar de los impulsos 32 de estimulación, para medir la impedancia. Normalmente, como se muestra en la figura 2, al menos algunos de los impulsos de referencia se hacen pasar a intervalos regulares (es decir, periódicamente), de modo que la impedancia puede medirse a intervalos regulares.

En algunas realizaciones, al menos un impulso del procedimiento de estimulación se sustituye por uno de los impulsos de referencia. Por ejemplo, en la secuencia 30c, dos de los impulsos de estimulación de la secuencia 30a se sustituyen por impulsos de referencia respectivos. En otras realizaciones, ningún impulso del procedimiento de estimulación se sustituye por un impulso de referencia. Por ejemplo, en la secuencia 30b, se añaden dos impulsos de referencia a la secuencia 30a, sin reemplazar ninguno de los impulsos de estimulación. Normalmente, los impulsos de referencia se añaden a la secuencia de impulsos de estimulación (como en la secuencia 30b), en lugar de sustituir a los impulsos de estimulación (como en la secuencia 30c), a menos que la frecuencia de suministro de los impulsos de estimulación sea demasiado alta para albergar la adición de los impulsos de referencia.

En algunas realizaciones, como se muestra en la figura 2, uno o más de los impulsos de referencia son simétricos. Es decir, para uno o más de los impulsos de referencia, la duración y la amplitud de la parte positiva del impulso son iguales, respectivamente, a la duración y la amplitud de la parte negativa del impulso. Alternativa o adicionalmente, uno o más de los impulsos de referencia pueden ser asimétricos. (Aunque la integral a lo largo de un impulso asimétrico es normalmente cero, la amplitud y la duración de la parte positiva del impulso asimétrico son diferentes de la amplitud y duración de la parte negativa del impulso).

Normalmente, como se muestra en la figura 2, los impulsos de referencia tienen una amplitud que es menor que la de los impulsos de estimulación, y/o una duración que es más corta que la de los impulsos de estimulación. Por lo tanto, es poco probable que los impulsos de referencia estimulen al sujeto y, de hecho, es posible que el sujeto no los note en absoluto. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la amplitud de la corriente de los impulsos de referencia es de menos de 15 mA, tal como menos de 10 mA, por ejemplo, menos de 5 mA, y/o la tensión de los impulsos de referencia es de menos de 15 V, por ejemplo, menos de 9 V. Alternativa o adicionalmente, la duración de los impulsos de referencia puede ser de menos de 25 microsegundos, por ejemplo, menos de 20 microsegundos.

Ahora se hace referencia a la figura 3, que es una ilustración esquemática del conjunto 24 de circuitos de estimulación acoplados (por ejemplo, unidos) a la piel 60 de un sujeto, según algunas realizaciones de la presente invención. Se observa que la configuración particular mostrada en la figura 3 se proporciona únicamente a modo de ejemplo. En la práctica, puede usarse cualquier circuito adecuado para aplicar los impulsos de estimulación y de referencia descritos en el presente documento, para aplicaciones o bien reguladas por corriente o bien reguladas por tensión.

En algunas realizaciones de estimulación reguladas por corriente, el conjunto 24 de circuitos de estimulación comprende el circuito de medio puente mostrado en la figura 3. En tal circuito, una fuente 38 de corriente suministra la corriente que se hace pasar entre los electrodos 26a y 26b, mientras que la tensión entre los electrodos está limitada a la tensión suministrada por la alimentación 36 de tensión. (En otras palabras, la corriente que se hace pasar entre los electrodos es el mínimo de “I” y “V/R”, donde “I” es la corriente suministrada por la fuente 38 de corriente, “V” es la tensión suministrada por la alimentación 36 de tensión, y “R” es la impedancia del tejido). Para generar impulsos de corriente tales como los impulsos de estimulación y de referencia que se muestran en la figura 2, el controlador controla los interruptores 40a, 40b, 40c y 40d (por ejemplo, interruptores de transistor). En particular, para hacer pasar corriente desde el electrodo 26a hasta el electrodo 26b, el controlador cierra los interruptores 40a y 40d, conectando así el electrodo 26a a la alimentación 36 de tensión y el electrodo 26b a la fuente 38 de corriente, mientras que los interruptores 40b y 40c permanecen abiertos. Por el contrario, para hacer pasar corriente desde el electrodo 26b hasta el electrodo 26a, el controlador cierra los interruptores 40b y 40c,



conectando así el electrodo 26b a la alimentación 36 de tensión y el electrodo 26a a la fuente 38 de corriente, mientras que los interruptores 40a y 40d permanecen abiertos.

5 La dirección de la corriente determina la polaridad del impulso. Por ejemplo, las partes positivas respectivas de los impulsos mostrados en la figura 2 pueden obtenerse haciendo pasar corriente desde el electrodo 26a hasta el electrodo 26b, mientras que las partes negativas respectivas pueden obtenerse haciendo pasar corriente desde el electrodo 26b hasta el electrodo 26a. El grado en que los interruptores se cierran determina las amplitudes de los impulsos.

10 En la realización de la invención, la tensión suministrada por la alimentación 36 de tensión se controla, en respuesta a la impedancia medida. Por ejemplo, en la realización de la invención, se realiza un "procedimiento de calibración". Al menos se usa un impulso de referencia, que se hace pasar entre los electrodos antes del procedimiento de estimulación, para medir la impedancia de nivel inicial entre los electrodos. Posteriormente, la alimentación 36 de tensión puede fijarse a una tensión que sea ligeramente mayor que el producto de la impedancia de nivel inicial medida y la corriente de estimulación máxima deseada.

15 El procedimiento de calibración descrito anteriormente es ventajoso, ya que facilita fijar un límite de tensión que sea lo suficientemente alto como para albergar la estimulación del sujeto, pero no demasiado alto como para consumir una cantidad relativamente grande de exceso de potencia. En otras palabras, si la alimentación de tensión se fijó sin tener en cuenta la impedancia de nivel inicial, será necesario que la alimentación de tensión se fije, para cada sujeto, tan alto como sea necesario para albergar el "peor de los casos", es decir, la impedancia de la piel más alta esperada. Sin embargo, algunos sujetos pueden tener una impedancia de la piel que es significativamente menor que la impedancia de la piel más alta esperada. Para tales sujetos, la alimentación de tensión sería demasiado alta, de modo que se consumiría innecesariamente energía en exceso. Por lo tanto, al fijar la alimentación de tensión en respuesta a la impedancia de nivel inicial medida, puede fijarse un límite de tensión apropiado para cada sujeto, lo que facilita un consumo de energía más eficiente.

25 Normalmente, cuando se hace pasar el impulso de referencia que se usa para medir la impedancia de nivel inicial, la alimentación de tensión se fija a una tensión menor que la tensión al que se fija posteriormente para el procedimiento de estimulación. Por ejemplo, la alimentación de tensión puede fijarse a una tensión que sea ligeramente mayor que el producto de la impedancia máxima estimada y la corriente de referencia deseada. Posteriormente, en respuesta a la impedancia de nivel inicial medida, la alimentación de tensión puede aumentarse para albergar la estimulación, tal como se describió anteriormente. Dado que la precisión del conjunto 28 de circuitos de medición (figura 1) es normalmente mayor para tensiones suministradas más pequeñas que para tensiones suministradas más grandes, la técnica descrita anteriormente puede facilitar una medición más precisa de la impedancia de nivel inicial. (Sin embargo, durante el procedimiento de estimulación, la alimentación de tensión normalmente permanece en el valor que alberga estimulación más alto, incluso durante la aplicación de los impulsos de referencia).

35 Por ejemplo, los impulsos de referencia como los que se muestran en la figura 2 pueden tener una amplitud de 10 mA, mientras que la impedancia de la piel de sujetos humanos normalmente no es mayor a 1500 Ohm. Por lo tanto, durante el procedimiento de calibración, la alimentación de tensión puede fijarse a 18 V, que es ligeramente mayor que el producto de 10 mA y 1500 Ohm. Los impulsos de estimulación como los que se muestran en la figura 2 pueden tener una amplitud máxima de 30 mA. Por lo tanto, si, por ejemplo, la impedancia de nivel inicial medida fue de 1000 ohmios, la alimentación de tensión para el procedimiento de estimulación puede fijarse en 35 V, que es ligeramente mayor que el producto de 30 mA y 1000 ohmios.

Ahora se hace referencia a la figura 4, que es un diagrama de flujo que muestra un método 58 puesto en práctica según algunas realizaciones de la presente invención. La mayoría de las etapas en el método 58 ya se describieron anteriormente, pero para mayor claridad, se describen nuevamente a continuación, con referencia a la figura 4.

45 El método 58 comienza con una primera etapa 42 de fijación de tensión, en la que la alimentación 36 de tensión se fija a una tensión que es lo suficientemente alta como para albergar un impulso de referencia, pero menor que la tensión usada posteriormente durante el procedimiento de estimulación. (Tal como se señaló anteriormente, una tensión menor puede facilitar una medición más precisa de la impedancia de nivel inicial). Posteriormente, en una etapa 44 de medición de la impedancia de nivel inicial, se aplica al menos un impulso de referencia al sujeto haciéndose pasar entre los electrodos, y durante la aplicación del impulso de referencia, se mide la impedancia de nivel inicial midiendo la tensión entre los electrodos. En la primera etapa 45 de decisión, el controlador evalúa si la impedancia de nivel inicial medida es razonable, es decir, si se encuentra dentro de un intervalo esperado de la impedancia normal de la piel humana, por ejemplo, 300 - 1500 ohmios. Si la impedancia de nivel inicial no es razonable (es decir, es mayor de lo esperado, lo que indica que los electrodos pueden no haberse acoplado correctamente a la piel, o es menor de lo esperado, lo que indica un posible cortocircuito de los electrodos), puede generarse una alerta, y posteriormente, en respuesta a la alerta, pueda ajustarse el acoplamiento (por ejemplo, la unión) de los electrodos a la piel, en una primera etapa 47 de ajuste. Posteriormente, se repiten las etapas 44 y 45. (Las etapas 42, 44, 45 y 47 forman parte colectivamente del procedimiento de calibración mencionado anteriormente).

Después de una evaluación de que la impedancia de nivel inicial es razonable, en una segunda etapa 46 de fijación de tensión, se fija la alimentación 36 de tensión, en respuesta a la impedancia de nivel inicial, a una tensión mayor que sea lo suficientemente alta como para albergar la estimulación. A continuación, en una etapa 48 de estimulación, se aplican uno o más impulso de estimulación al sujeto, haciéndose pasar entre los electrodos. En una  
5 segunda etapa 50 de decisión, el controlador, o el sujeto, decide si el procedimiento de estimulación ha terminado, es decir, si se han aplicado suficientes impulsos de estimulación al sujeto. Si la respuesta es afirmativa, el procedimiento de estimulación finaliza. De lo contrario, dependiendo del estado actual del procedimiento de estimulación, o bien (i) se aplican más impulsos de estimulación al sujeto, en la etapa 48 de estimulación, o bien (ii)  
10 en una etapa 52 de medición de la impedancia intraprocedimiento, se aplica al menos un impulso de referencia al sujeto, y durante la aplicación del impulso de referencia, se mide la impedancia intraprocedimiento entre los electrodos. Posteriormente a (ii), en una tercera etapa 54 de decisión, el controlador compara la impedancia intraprocedimiento con un umbral que se basa en la impedancia de nivel inicial. Si la impedancia intraprocedimiento se desvía del umbral (es decir, es mayor que el umbral, lo que indica un posible desacoplamiento de los electrodos de la piel, o es menor que el umbral, lo que indica un posible cortocircuito de los electrodos), puede generarse una  
15 alerta, y posteriormente, en respuesta a la alerta, puede ajustarse el acoplamiento (por ejemplo, la unión) de los electrodos a la piel, en una segunda etapa 56 de ajuste. Después del ajuste, la estimulación puede continuar, en la etapa 48 de estimulación.

En algunas realizaciones, el conjunto 64 de circuitos de controlador se realiza como un dispositivo informático digital programable que comprende una unidad central de procesamiento (CPU) y una memoria de acceso aleatorio (RAM).  
20 El código, incluyendo los programas de software, y/o los datos del programa se carga en la RAM para su ejecución y procesamiento por parte de la CPU. El código y/o los datos del programa pueden descargarse al controlador en forma electrónica, a través de una red, por ejemplo, o pueden proporcionarse y/o almacenarse, de manera alternativa o adicional, en medios tangibles no transitorios, tales como una memoria magnética, óptica o electrónica. Tal código y/o datos del programa, cuando se proporcionan al controlador, producen una máquina u ordenador  
25 especializado, configurado para realizar las tareas descritas en el presente documento. El ordenador es normalmente un dispositivo de hardware programado con instrucciones de programa informático para producir un ordenador especializado. Normalmente, las operaciones que realiza el ordenador transforman el estado físico de una memoria, que es un artículo físico real, para tener una polaridad magnética, carga eléctrica o similar diferente dependiendo de la tecnología de la memoria usada.

30 Los expertos en la técnica apreciarán que la presente invención no se limita a lo que se ha mostrado y descrito en particular anteriormente en el presente documento. Más bien, el alcance de la presente invención incluye tanto combinaciones como subcombinaciones de las diversas características descritas anteriormente en el presente documento, así como variaciones y modificaciones de las mismas que no están en la técnica anterior, que se les ocurrirán a los expertos en la técnica al leer la descripción anterior.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato para su uso con (i) un conjunto (24) de circuitos de estimulación que incluye un par de electrodos (26a, 26b), (ii) un conjunto (28) de circuitos de medición y (iii) una alimentación (36) de tensión, comprendiendo el aparato un controlador (22) que comprende:
- 5 al menos una interfaz (62) configurada para acoplar el controlador (22) al conjunto (24) de circuitos de estimulación y al conjunto (28) de circuitos de medición; y
- un conjunto (64) de circuitos de controlador, configurado para realizar, mientras los electrodos (26a, 26b) están acoplados a la piel de un sujeto, un procedimiento de estimulación al:
- 10 activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de estimulación entre el par de electrodos (26a, 26b),
- activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b), siendo los impulsos de referencia diferentes de cada uno de los impulsos de estimulación,
- 15 recibir, desde el conjunto (28) de circuitos de medición, una impedancia intraprocedimiento entre los electrodos (26a, 26b) que se mide usando los impulsos de referencia intraprocedimiento, y
- en respuesta a la impedancia medida usando los impulsos de referencia intraprocedimiento, pero no en respuesta a ninguna impedancia medida usando los impulsos de estimulación, controlar el procedimiento de estimulación:
- 20 estando el conjunto (64) de circuitos de controlador configurado para realizar, mientras los electrodos (26a, 26b) están acoplados a la piel del sujeto, un procedimiento de calibración antes del procedimiento de estimulación al:
- activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar un impulso de referencia de calibración a través del par de electrodos (26a, 26b),
- medir una impedancia de nivel inicial entre el par de electrodos (26a, 26b) y
- 25 caracterizado por:
- fijar la alimentación (36) de tensión a una tensión que sea ligeramente mayor que el producto de la impedancia de nivel inicial medida y una corriente de estimulación máxima deseada, y
- porque el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para usar la alimentación (36) de tensión, fijada a la tensión ligeramente mayor, para realizar el procedimiento de estimulación.
- 30 2. Aparato según la reivindicación 1, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento simétricos.
- 35 3. Aparato según la reivindicación 1, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento asimétricos.
- 40 4. Aparato según la reivindicación 1, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para sustituir al menos un impulso del procedimiento de estimulación por uno de los impulsos de referencia intraprocedimiento.
- 45 5. Aparato según la reivindicación 1, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento sin sustituir ningún impulso del procedimiento de estimulación por uno de los impulsos de referencia intraprocedimiento.
- 50 6. Aparato según la reivindicación 1, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia intraprocedimiento que tiene una amplitud que varía menos que una amplitud de al menos uno de los impulsos de estimulación.

7. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la impedancia intraprocedimiento medida al detener el procedimiento de estimulación.
- 5 8. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar una pluralidad de impulsos de referencia intraprocedimiento entre los respectivos pares de impulsos de estimulación.
- 10 9. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para:
- recibir, desde el conjunto (28) de circuitos de medición, la impedancia de nivel inicial entre los electrodos (26a, 26b) antes de recibir la impedancia intraprocedimiento entre los electrodos (26a, 26b), y
- controlar el procedimiento de estimulación en respuesta a la comparación de la impedancia intraprocedimiento con un umbral que se basa en la impedancia de nivel inicial.
- 15 10. Aparato según la reivindicación 9, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado además para ajustar adaptativamente el umbral durante el procedimiento de estimulación.
- 20 11. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia intraprocedimiento que tiene una amplitud menor que una amplitud de al menos uno de los impulsos de estimulación.
- 25 12. Aparato según la reivindicación 11, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia intraprocedimiento al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia intraprocedimiento que tiene una corriente que es de menos de 15 mA.
- 30 13. Aparato según la reivindicación 12, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia intraprocedimiento al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia intraprocedimiento que tiene una corriente que es de menos de 10 mA.
- 35 14. Aparato según la reivindicación 11, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar el al menos un impulso de referencia intraprocedimiento al activar el conjunto (24) de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia intraprocedimiento que tiene una tensión que es de menos de 15 V.
15. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el conjunto (64) de circuitos de controlador está configurado para activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar el uno o más impulsos de referencia intraprocedimiento entre el par de electrodos (26a, 26b) al activar el conjunto de circuitos de estimulación para hacer pasar al menos un impulso de referencia intraprocedimiento que tiene una duración más corta que una duración de al menos uno de los impulsos de estimulación.

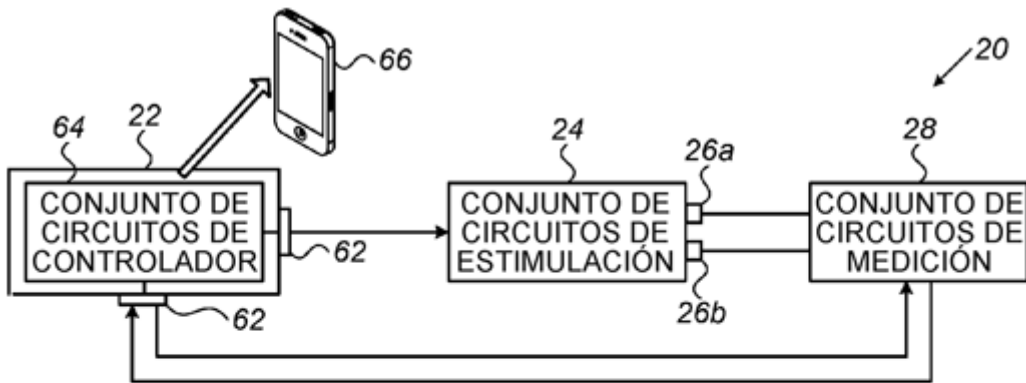


FIG. 1

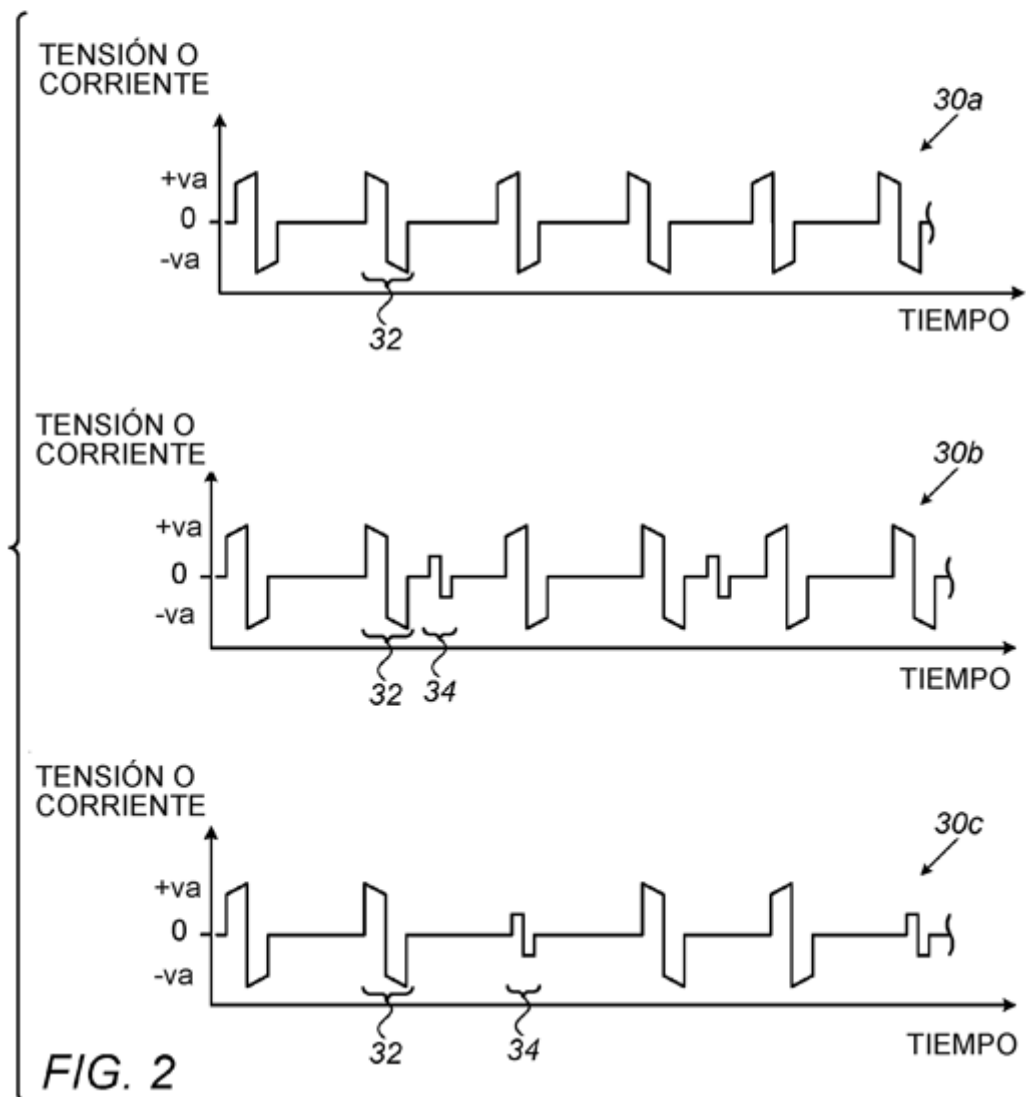


FIG. 2

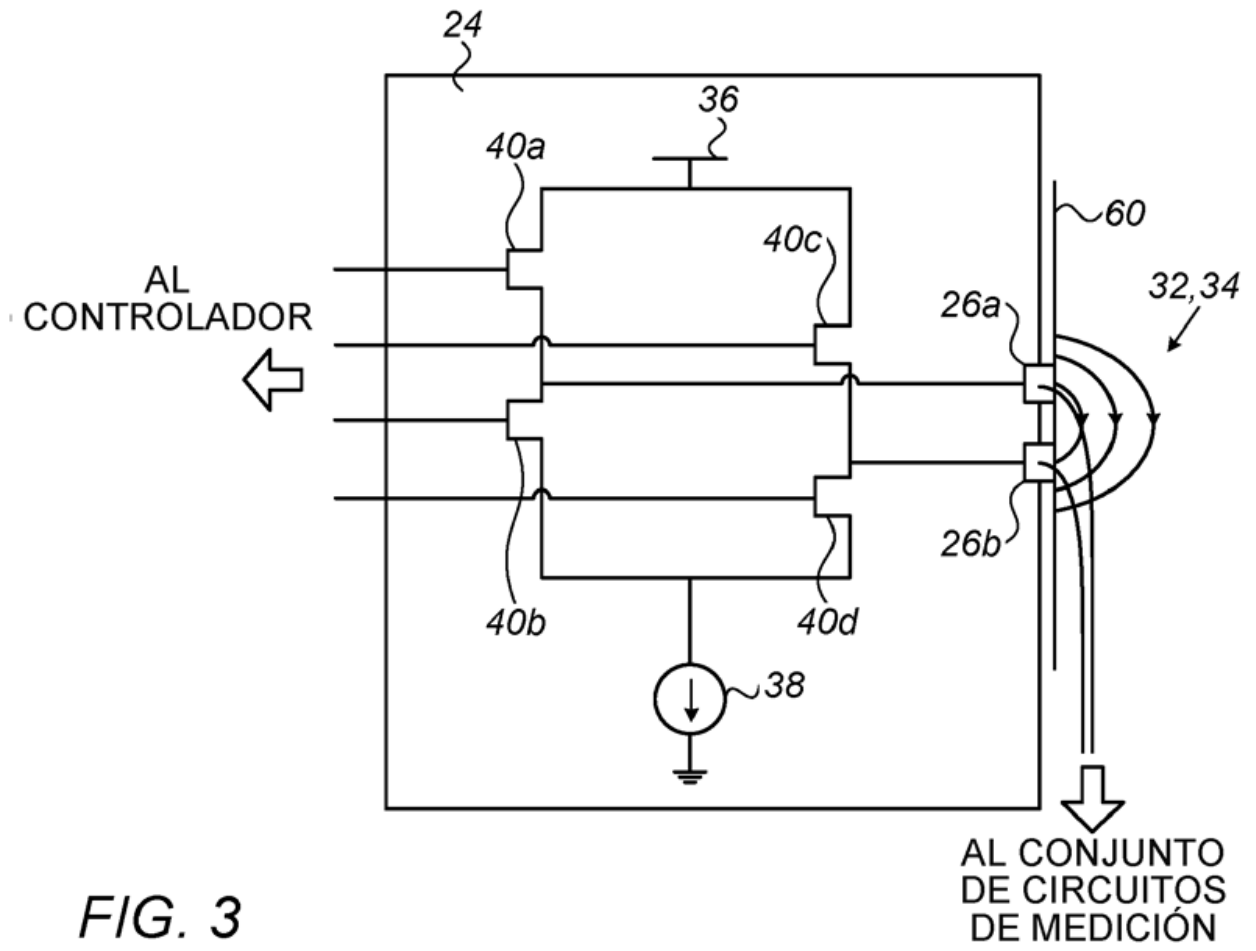


FIG. 3

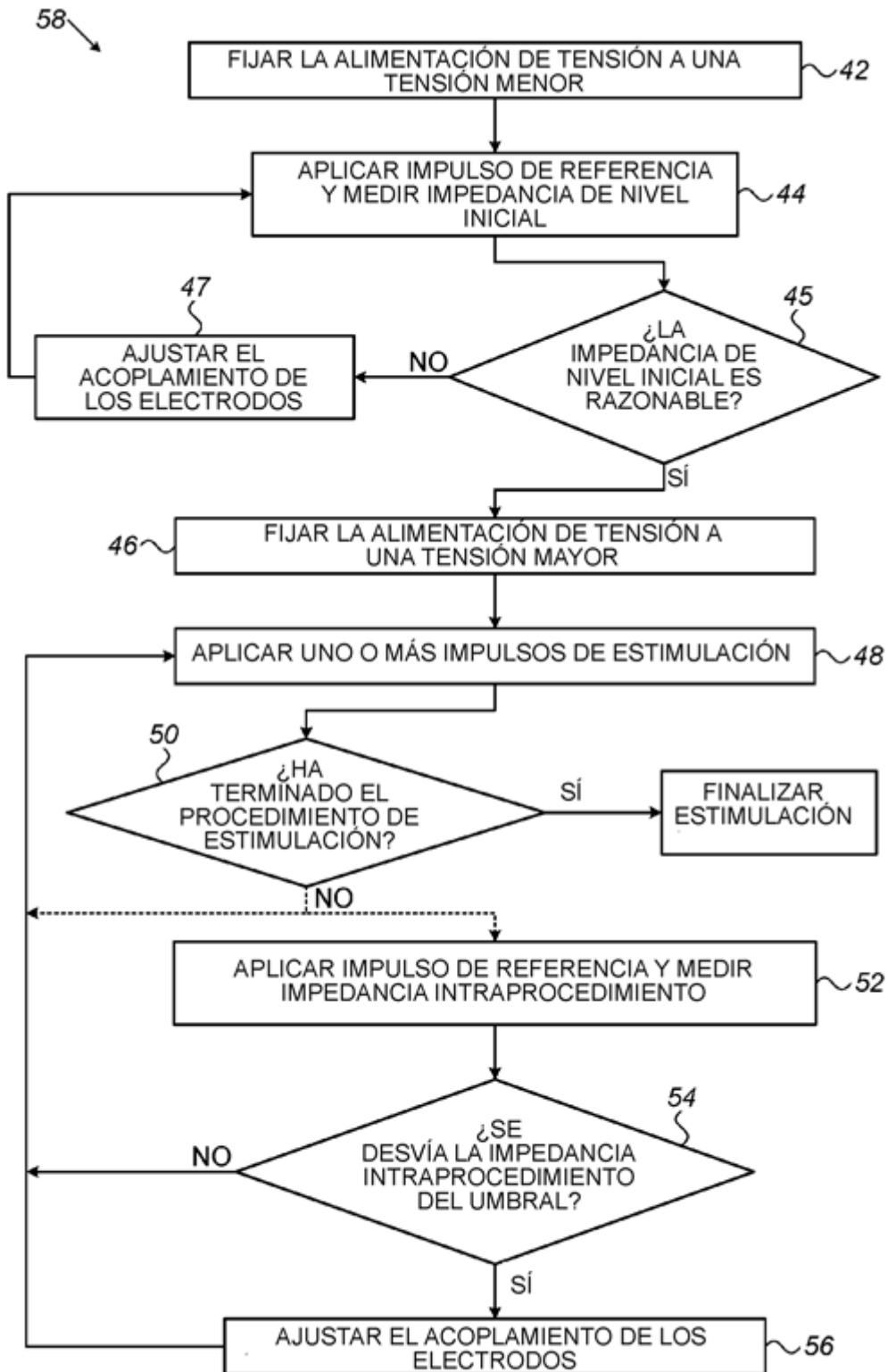


FIG. 4