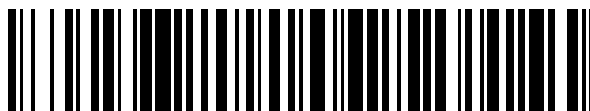


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 854**

51 Int. Cl.:

A61N 1/40 (2006.01)

A61N 2/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.11.2004** **PCT/EP2004/052914**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2005** **WO05044375**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2004** **E 04798196 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017** **EP 1689490**

54 Título: **Dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica**

30 Prioridad:

11.11.2003 IT TO20030893

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.06.2017

73 Titular/es:

**IGEA S.P.A. (100.0%)
Via Parmenide, 10/A
41012 Carpi, IT**

72 Inventor/es:

**GIARDINO, ROBERTO;
CADOSI, RUGGERO y
SETTI, STEFANIA**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 617 854 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

Dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica

5 Campo técnico

Esta invención se refiere a un dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica.

10 Antecedentes de la invención

Son conocidos los dispositivos estimuladores de campo electromagnético, en los que un generador de corriente pulsante, variable, es capaz de alimentar al menos un solenoide para generar un campo electromagnético dirigido sobre una porción del cuerpo humano incluyendo tejido óseo.

15 Por ejemplo, la Patente americana US-3.820.534 publicada en 1974 describe un dispositivo capaz de permitir el crecimiento y la reparación de tejido óseo mediante el campo electromagnético generado por un solenoide movido por una señal eléctrica alterna con una frecuencia de menos de 50 Hz.

20 Los dispositivos actualmente conocidos no son capaces de proteger el cartílago articular contra la degeneración, o más bien no son capaces de operar de forma eficaz en la integridad del tejido cartilaginoso, activando un efecto conservador contra la degradación del cartílago propiamente dicho.

25 Como es conocido, la degeneración de cartílago articular se manifiesta muy frecuentemente y empeora progresivamente con la edad. Basta pensar en que las alteraciones de la superficie del cartílago solamente se manifiestan en un 5% de la población de menos de 25 años de edad, mientras que están presentes en más del 80% de personas de más de 75. Sin embargo, la degeneración del cartílago no es solamente una consecuencia del envejecimiento, sino también el resultado final de una serie de factores complejos relacionados con problemas de naturaleza biológica y/o problemas mecánicos.

30 El cartílago articular no posee significativas capacidades de autocuración a excepción de pequeñas lesiones cuando se es joven. La calidad y las propiedades mecánicas del cartílago articular solamente pueden disminuir en el transcurso de vida.

35 De entre las causas que pueden dañar el cartílago articular, podemos identificar las que tienen una base mecánica y las que tienen una base biológica.

Las causas mecánicas pueden ser agudas o crónicas, dependiendo respectivamente de si son el resultado de un trauma severo o de una alteración del eje de carga.

40 Las causas biológicas son debidas principalmente a la presencia de inflamación atribuible a hueso subcondral e intraestructuras articulares (sinovial en particular). Los procesos inflamatorios producen un fuerte efecto catabólico en el cartílago, porque las células inflamatorias sintetizan y liberan citoquinas proinflamatorias (interleuquina 1 y 6, y TNF- α) que inhiben la síntesis de proteoglicanos por los condrocitos y aumentan la síntesis de enzimas (matriz de metaloproteína 3, MMP3), que, a su vez, degradan la matriz cartilaginosa. La respuesta inflamatoria de las estructuras articulares es a menudo la consecuencia de traumas agudos o crónicos, distorsiones, necrosis ósea avascular del hueso subcondral, edema medular de los cóndilos, y efectos colaterales de cirugía abierta o arterioscópica.

50 En base a estas premisas, es fundamental disponer de una terapia capaz de controlar localmente la inflamación, a nivel tanto del hueso subcondral como de la estructura articular. La terapia también debe ser capaz de actuar directamente en los condrocitos a la profundidad del cartílago para evitar los efectos catabólicos de las citoquinas inflamatorias en el condrocito y en la matriz, para facilitar las actividades anabólicas y la síntesis de proteoglicanos. El tratamiento simultáneo de cartílago, tejido óseo subcondral y estructuras carnosas articulares solamente viable con medios físicos.

En base a esta premisa, se siente por lo tanto la necesidad de realizar un dispositivo que sea capaz de llevar a cabo lo especificado anteriormente.

60 La Solicitud de Patente de Estados Unidos publicada 2003/0093028 describe el preámbulo de la reivindicación 1.

Descripción de la invención

65 El objeto anterior se logra con esta invención, que se refiere a un dispositivo de campo electromagnético para terapia de condroprotección biofísica anatómica, en el que los medios de generación de corriente son adecuados para alimentar al menos un solenoide para generar un campo electromagnético dirigido sobre una parte del cuerpo

humano incluyendo tejido cartilaginoso, caracterizado por el hecho de que dichos medios de generación de corriente suministran a dicho solenoide corriente que tiene una forma de onda que incluye la repetición de una rampa con una cierta pendiente; produciendo dicha corriente la generación de un campo electromagnético que induce en una sonda de control irradiada por este campo electromagnético un voltaje inducido V_{in} de amplitud marcadamente constante durante el período de crecimiento lineal a modo de rampa de la corriente en el solenoide.

Breve descripción de los dibujos

La invención se ilustrará ahora con referencia especial a las figuras anexas que representan una forma de realización preferida, no limitativa, en las que:

La figura 1 ilustra un diagrama de cableado simplificado de un dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica realizado según los principios de esta invención.

La figura 2 ilustra la modulación en el tiempo de dos cantidades controladas por el dispositivo estimulador según esta invención.

La figura 3 ilustra eventos intracelulares activados por el dispositivo estimulador según esta invención.

Las figuras 4 y 5 muestran histogramas relativos a las diferencias halladas a nivel intracelular entre regiones tratadas con el dispositivo estimulador según esta invención y regiones no sometidas a tratamiento.

Las figuras 6a y 6b respectivamente muestran una imagen de una región articular no tratada y una imagen de una región articular tratada con el dispositivo estimulador según la invención.

Y las figuras 7a y 7b muestran imágenes de un injerto osteocartilaginoso tratado con el dispositivo estimulador según la invención.

Mejor modo de llevar a la práctica la invención

En la figura 1, un dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica (CBA) se indica en general con 1.

En particular, el dispositivo estimulador 1 incluye un generador de señal de sincronización 3 adecuado para producir una señal de salida ck con una frecuencia constante, por ejemplo 16 MHz, usada como una referencia interna. El dispositivo 1 también incluye un circuito de división de tiempo 4 que recibe la señal de sincronización ck en entrada, y capaz de dividir en el tiempo la señal ck para generar una señal de exploración sc alimentada en entrada a una tabla 7.

La tabla 7 contiene un número de mapas seleccionables, cada uno de los cuales implementa una función $f(t)$ que proporciona, para cada valor de la señal de exploración sc en entrada, un valor de salida $lout$ que expresa una intensidad de corriente deseada.

Con más detalle, la función $f(t)$ es lineal y representa una rampa con una cierta pendiente que proporciona, para valores crecientes de la señal de exploración sc en entrada, valores de intensidad linealmente crecientes para la corriente deseada $lout$. Al final de la exploración de la función, la función es explorada de nuevo comenzando desde el inicio de la rampa. De esta forma, después de la operación del generador de señal de sincronización 3 y el divisor de tiempo 4, la señal de salida $lout$ presenta un perfil de dientes de sierra incluyendo la repetición de una rampa que expresa valores crecientes de la intensidad de corriente.

El dispositivo 1 también incluye un circuito atenuador 10 que recibe la señal $lout$ en entrada y la alimenta a un bloque de sustracción 12, que realiza la diferencia aritmética entre la misma señal $lout$ y una señal $Imis$ que expresa la intensidad de corriente real. La salida del bloque de sustracción 12 (error de anillo) es alimentada a la entrada de un amplificador de error 14 (por ejemplo, un circuito proporcional-integral-derivado) que tiene una salida que controla un bloque modulador de anchura de pulso (PWM) 18 mediante un convertidor digital/análogo 19.

El bloque PWM 18 genera una señal analógica alterna $s(t)$ en salida con una frecuencia constante (por ejemplo, 250 KHz) y ciclo de trabajo ajustable. Por ejemplo, la señal $s(t)$ podría tener una forma de onda cuadrada.

El ciclo de trabajo de la señal $s(t)$ es modificado en función del valor numérico alimentado en entrada al bloque PWM 18; en particular, el ciclo de trabajo de la señal $s(t)$ aumenta con el aumento del valor numérico de la señal alimentada en entrada al bloque PWM 18.

La señal analógica $s(t)$ es alimentada en entrada a una etapa de amplificador de salida 20 (de tipo conocido), que genera una señal de potencia de salida $S(t)$ que alimenta un solenoide 24 mediante un filtro de paso bajo 22. El filtro de paso bajo 22 es adecuado para eliminar componentes espurios de la señal de potencia $S(t)$; este filtro 22 es

ventajoso puesto que la señal de potencia $S(t)$ genera componentes armónicos de orden alto.

El solenoide 24 genera un tipo especial de campo electromagnético (detallado mejor más adelante) que es dirigido sobre una porción de un cuerpo humano 26 incluyendo una porción de cartílago 27, especialmente cartílago articular.

El solenoide 24 se hace de tal manera que el estímulo físico pueda seguir la forma de las superficies anatómicas de la porción del cuerpo humano 26 y pueda penetrar profundamente en el cartílago y el hueso subcondral.

En particular, el solenoide 24 se puede hacer oportunamente usando múltiples hojas de un material flexible (por ejemplo, tres hojas de Kapton, de 50 micras de grosor), en cuyas caras se han depositado pistas de cobre, mediante un proceso de fotograbado, que forman las vueltas del solenoide 24 propiamente dicho. Por ejemplo, las pistas de cobre pueden estar convenientemente distanciadas 0,3 mm una de otra, por ejemplo 1,7 mm de ancho y 35 μm de grueso.

La distancia entre las pistas de cobre y su grosor y anchura hacen que el solenoide 24 sea especialmente flexible, permitiendo por ello que el estímulo físico sea transmitido por toda la zona a tratar de manera uniforme alrededor de la zona de aplicación, siguiendo la forma de las superficies anatómicas.

En particular, el campo electromagnético inducido por el solenoide 24 se distribuye sobre la porción del cuerpo humano 26 de tal forma que incluya no solamente el tejido cartilaginoso en toda su extensión y todo su grosor, sino también las varias superficies articulares, meniscos, ligamentos, simpodia, hueso subcondral, etc.

Un dispositivo detector 28 (por ejemplo, una resistencia shunt o un sensor de efecto Hall) detecta el valor de la corriente $i(t)$ que circula en el solenoide 24. La salida del dispositivo detector 28 alimenta un amplificador de realimentación 29, cuya salida, a su vez, alimenta un convertidor analógico/digital 30, que produce la señal I_{mis} que expresa el valor medido de la corriente que circula en el solenoide 24.

El circuito atenuador 10 reduce proporcionalmente todos los puntos en la tabla 7 en un parámetro programable IPK para lograr un perfil de corriente uniformemente escalado. En particular, si el valor del parámetro IPK es igual a cero, no se aplica ninguna limitación en la corriente que alimenta el solenoide 24, que así está libre de restricciones, es decir, es la petición de carga máxima. Sin embargo, si el parámetro IPK no es cero, este parámetro IPK representa en cambio el valor pico máximo para la corriente generada por el solenoide 24. Por lo tanto, cada valor de la tabla 7 contribuirá a realizar un valor de corriente proporcional al valor pico máximo expresado por el parámetro IPK.

En el uso, después de encender el dispositivo 1, se genera una señal I_{out} que tiene una función de referencia e incluye la repetición de una rampa que representa valores crecientes de la intensidad de corriente. El valor de referencia I_{out} también puede ser alterado seleccionando un mapa diferente en la tabla 7.

El bloque PWM 18 recibe una señal variable en entrada y en consecuencia cambia el ciclo de trabajo de la señal de potencia $S(t)$ en función de esta señal de entrada, con el fin de inducir una corriente en el solenoide 24 que sigue la modulación establecida por la señal I_{out} , que así realiza una función de referencia.

La intensidad de la corriente en el solenoide 24 es regulada por lo tanto mediante la variación del ciclo de trabajo de la señal de potencia $S(t)$.

De esta forma, se hace un generador de corriente que alimenta el solenoide 24 con una corriente $i(t)$ cuya forma de onda incluye la repetición de una rampa (figura 2) que tiene una pendiente predeterminada y constante.

Esta corriente produce la generación de un campo electromagnético que induce en una sonda de control 32 (figura 1) irradiada por este campo electromagnético, un voltaje inducido V_{in} de amplitud marcadamente constante durante el período de crecimiento lineal a modo de rampa de la corriente en el solenoide 24.

De hecho, el voltaje inducido es proporcional con el tiempo a la derivada de la señal que alimenta el solenoide 24.

Por ejemplo, puede realizarse de forma útil un voltaje inducido V_{in} que tiene amplitud constante entre 1 y 4 milivoltios durante todo el período activo de control del solenoide 24.

El sistema de realimentación del dispositivo 1, constituido por el dispositivo detector 28, el amplificador de realimentación 29 y el convertidor analógico/digital 30, lleva a cabo la supervisión continua de la corriente $i(t)$ que circula en el solenoide 24 y compara (bloque de sustracción 12) el valor de corriente medido I_{mis} con el "mapeado" en la tabla 7, es decir, con la señal I_{out} .

En el caso de varianzas de estos valores, debido a pequeñas variaciones de la impedancia (resistencia y/o inductancia) del solenoide 24 por ejemplo, el sistema de realimentación se ocupa inmediatamente, mediante la señal de error de anillo, de la corrección del ciclo de trabajo de la señal de potencia $S(t)$ y por ello del valor de la corriente

que alimenta el solenoide 24, con el fin de mantener inalterada la forma de onda del voltaje inducido Vin.

Resultados experimentales realizados por el solicitante han demostrado que el dispositivo 1 logra condroprotección biofísica anatómica, o más bien que es capaz de: conservar la integridad del cartílago, controlar procesos articulares inflamatorios dependientes tanto del hueso subcondral como de estructuras articulares, proteger el condrocito y la matriz cartilaginosa de los efectos catabólicos de citoquinas inflamatorias, favorecer el trofismo de cartílago que estimula el metabolismo condrocítico y la síntesis de proteoglicanos, y actuar directamente en el trofismo protector de hueso subcondral y garantizar la integración en presencia de un trasplante autólogo. En particular, la condroprotección biofísica anatómica tiene aplicación favorable en seres humanos para el tratamiento de estados inflamatorios y degenerativos relativos al cartílago articular y el hueso subcondral de las principales articulaciones, especialmente la rodilla, en todos los trastornos de edema de médula ósea con relación al hueso subcondral de cóndilos femorales, en la curación y la integración de injertos óseos después de operaciones de reconstrucción de ligamento en las vainas flexoras fibrosas de la rodilla, y en la curación y la integración de injertos osteocartilaginosos de la articulación de la rodilla.

Confirma estos efectos una serie de estudios realizados tanto in vitro como in vivo, cuyos resultados se detallan a continuación.

Efectos in vitro: control de la inflamación

La condroprotección biofísica anatómica actúa de manera específica en los receptores adenosínicos A_{2A} de la membrana celular de células proinflamatorias, neutrófilos, que entonces los hacen disponibles para unión con adenosina. Dentro de la esfera de los receptores adenosínicos, los receptores A_{2A} son los de mayor efecto antiinflamatorio.

La unión con adenosina produce: inhibición de la producción de citoquinas proinflamatorias, reducción de la síntesis de radicales libres, aumento de la producción de ATP y citoquinas con acción antiinflamatoria, TGF β , y la inhibición de actividad de la ciclooxigenasa 2.

Los estudios cinéticos realizados por el solicitante han demostrado cómo el dispositivo estimulador implementado según esta invención permite lograr un efecto antiinflamatorio. De hecho, en casos de inflamación, usando el dispositivo 1 es posible activar los receptores adenosínicos en la membrana celular mediante el estímulo biofísico generado.

La figura 3 representa en detalle el mecanismo de transducción de la señal biofísica en los receptores adenosínicos A_{2A} de la membrana celular y los eventos intracelulares activados por la unión de adenosina con el receptor asociado y que generan la acción antiinflamatoria.

La figura 4 representa en cambio un histograma que muestra el número de enlaces formados entre adenosina y el receptor adenosínico A_{2A} en la membrana de neutrófilos humanos en la presencia y ausencia de tratamiento con el dispositivo 1, en función del tiempo. Como se puede ver, el número de uniones formadas y la consiguiente acción antiinflamatoria es aproximadamente el doble en presencia del tratamiento de estimulación proporcionado mediante el dispositivo 1 realizado según los principios de esta invención.

Efectos in vitro: efecto anabólico en cartílago

La condroprotección biofísica anatómica ejerce una acción anabólica en cartílago en la presencia de citoquinas inflamatorias (IL-1).

Los explantes de cartílago articular cultivados en la presencia de citoquinas inflamatorias (IL-1) exhiben un aumento de las actividades catabólicas, que acompaña a la degradación de la matriz cartilaginosa y la disminución de la síntesis de proteoglicanos. Sin embargo, si los explantes se exponen al campo electromagnético generado por el dispositivo 1, el efecto catabólico de las citoquinas inflamatorias en la matriz es inhibido completamente y se conserva la integridad de la matriz cartilaginosa, así como la capacidad de síntesis de los proteoglicanos.

La figura 5 ilustra un histograma que representa la capacidad de síntesis de proteoglicanos (S-PG) en explantes de cartílago articular en las condiciones siguientes: condiciones de control, condición de exposición al efecto catabólico de las citoquinas inflamatorias y la condición de exposición al efecto catabólico de las citoquinas inflamatorias combinados con estimulación mediante el dispositivo 1 según la invención. Como se puede ver, se observa que la capacidad de síntesis de proteoglicanos se pone fuertemente en peligro debido a las citoquinas inflamatorias, pero vuelve a valores más o menos normales, iguales a los de control, en presencia del efecto de condroprotección biofísica anatómica generado por el dispositivo de estimulación 1.

Efectos in vivo: inhibición de degeneración de cartílago articular

La condroprotección biofísica anatómica inhibe los procesos degenerativos que afectan al cartílago articular que se

observan con el envejecimiento. Utilizando el modelo de osteoartrosis espontánea en conejillos de Indias y cuantificando el daño del cartílago articular según la clasificación de Mankin, se observó un fuerte efecto condroprotector vinculado con la estimulación proporcionada por el dispositivo 1 según la invención.

- 5 La figura 6a representa evidentes signos de degeneración de cartílago hallados en animales de control debido a envejecimiento. La figura 6b representa en cambio cartílago tratado con la terapia de condroprotección biofísica anatómica en el que la ausencia de degeneración es evidente. En particular, el grosor del cartílago se mantiene a niveles normales, la coloración de la matriz cartilaginosa aparece intensa y no se observan fenómenos de fibrilación.

10 Efectos in vivo: curación de tejido óseo subcondral

La condroprotección biofísica anatómica ejerce una acción de curación en tejido óseo subcondral.

- 15 La curación de graves lesiones de cartílago se puede llevar a cabo con varias opciones quirúrgicas, en las que el éxito depende en gran medida de las características del tejido óseo subcondral.

La acción del dispositivo 1 según esta invención produce una rápida curación de tejido óseo subcondral y evita fenómenos de reabsorción de hueso, creando condiciones óptimas para la viabilidad de la superposición de cartílago articular. Además, en presencia de un trasplante óseo, favorece el anclaje precoz del injerto propiamente
20 dicho, garantiza una buena integración del tejido óseo trasplantado, evita la formación de pequeños quistes óseos, y por lo tanto garantiza la estabilidad del injerto óseo. Se deberá indicar a este respecto que, en el caso de trasplantes osteocartilaginosos, el anclaje precoz de hueso subcondral es el prerequisite necesario para la viabilidad y la conservación del cartílago trasplantado.

- 25 En las figuras 7a y 7b se muestran dos imágenes relativas a un injerto osteocartilaginoso en un modelo animal tratado con la terapia de condroprotección biofísica anatómica seis meses después de la operación de injerto. En particular, en la imagen microrradiográfica de la figura 7a se puede observar la integración completa del hueso subcondral, mientras que en la imagen histológica de la figura 7b se puede observar la viabilidad del cartílago trasplantado, que exhibe un grosor adecuado e intensa coloración de la matriz cartilaginosa.

30 A partir del examen de las características del dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica realizado según esta invención, son evidentes los beneficios que pueden lograrse con él.

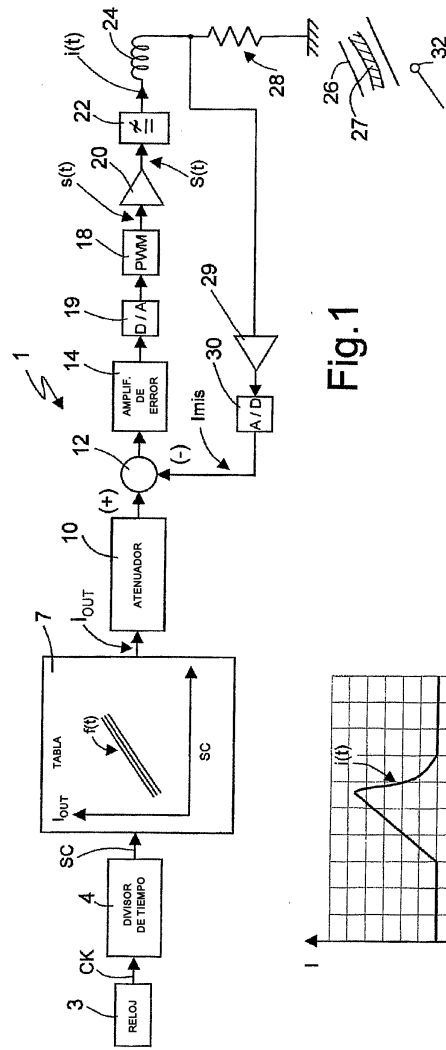
- 35 En particular, usando el dispositivo estimulador antes descrito, es posible programar el perfil de corriente piloto del solenoide que genera el campo de estimulación electromagnética punto a punto y también es posible crear diferentes perfiles de corriente seleccionando simplemente diferentes mapas piloto, con el fin de tomar en cuenta los varios tipos de tratamiento y/o diferentes solenoides usados. En particular, es ventajosa la posibilidad de poder realizar un perfil de corriente "ad hoc" para cada solenoide diferente usado.

40 Además, este control exacto de la corriente piloto permite generar un voltaje inducido que es lo más constante posible y de amplitud adecuada para el tipo de tratamiento.

- 45 Finalmente, mediante el sistema de realimentación implementado es posible reaccionar automáticamente a cambios de carga, debidos a cambios en la impedancia relacionada con cambios de temperatura o con la tolerancia de componentes por ejemplo, con el fin de asegurar la alta estabilidad operativa del dispositivo estimulador y así salvaguardar la efectividad terapéutica del dispositivo estimulador propiamente dicho en todas las condiciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo estimulador de campo electromagnético para condroprotección biofísica anatómica, en el que medios de generación de corriente (7, 18 y 20) son adecuados para alimentar al menos un solenoide (24) para generar un campo electromagnético adecuado para ser dirigido a una parte del cuerpo humano (26) incluyendo tejido cartilaginoso (27), dichos medios de generación de corriente (7, 18 y 20) suministran a dicho solenoide (24) corriente ($i(t)$) que tiene una forma de onda que incluye la repetición de una rampa lineal con una cierta pendiente; produciendo dicha corriente ($i(t)$) la generación de un campo electromagnético que induce un voltaje (V_{in}) de amplitud marcadamente constante durante el período de crecimiento lineal a modo de rampa de dicha corriente ($i(t)$),
- caracterizado porque** dichos medios de generación de corriente incluyen una tabla (7) que contiene un número de mapas seleccionables, cada uno de los cuales implementa una función $f(t)$ que proporciona, por cada valor de una señal de exploración sc en entrada un valor de salida $lout$ que expresa una intensidad de corriente deseada: definiéndose dicha señal de exploración por dispositivos temporizadores (4 y 5);
- cada función $f(t)$ representa una rampa con una cierta pendiente que proporciona, para valores crecientes de dicha señal de exploración, valores de intensidad linealmente crecientes para la corriente deseada $lout$; al final de la exploración de la función, la función es explorada de nuevo comenzando en el inicio de la rampa;
- incluyendo el dispositivo estimulador un sistema de realimentación (28, 29, 30, 12 y 14) que realiza supervisión continua de la corriente (i) presente en dicho solenoide (24), comparando (12) un valor de corriente medido ($Imis$) con dicho valor de salida $lout$ (7, $lout$); en casos de varianzas entre dichos dos valores, debido a cambios en la impedancia de dicho solenoide (24), dicho sistema de realimentación se ocupa automáticamente de ajustar el valor de dicha corriente ($i(t)$) que alimenta dicho solenoide (24) con el fin de mantener inalterada la forma de onda de dicho voltaje inducido (V_{in});
- dicho sistema de realimentación (28, 29, 30, 12 y 14) incluye: dispositivos detectores (28 y 29) adecuados para suministrar dicho valor de corriente medido ($Imis$), y dispositivos de sustracción (12) adecuados para generar una señal de error en función de dicho valor de corriente medido ($Imis$) y de dicho valor de salida $lout$ (7, $lout$);
- un circuito generador (18, 20) que incluye un modulador de anchura de pulso (18) que recibe dicha señal de error en entrada y genera una señal de potencia analógica alternante ($S(t)$) que tiene una frecuencia fija y ciclo de trabajo variable en función de dicha señal de error, siendo adecuado dicho ciclo de trabajo variable para regular la intensidad de dicha corriente ($i(t)$).
2. Un dispositivo según la reivindicación 1, en el que dispositivos atenuadores (10) están provistos de su entrada que comunica con la salida de dicha tabla (7), siendo adecuados dichos dispositivos atenuadores (10) para reducir el valor de dicha intensidad de corriente deseada ($lout$) en función de un parámetro programable (IPK) para limitar el valor máximo de dicha corriente ($i(t)$) que alimenta dicho solenoide (24).
3. Un dispositivo según la reivindicación 1, en el que dispositivos filtro de paso bajo (22) están dispuestos entre la salida de dicho generador de anchura de pulso (18 y 20) y dicho solenoide (24).
4. Un dispositivo según la reivindicación 1, en el que dicho solenoide (24) se hace a partir de un número de hojas de un material flexible para que se adapte a la forma de dicha porción del cuerpo humano (26).



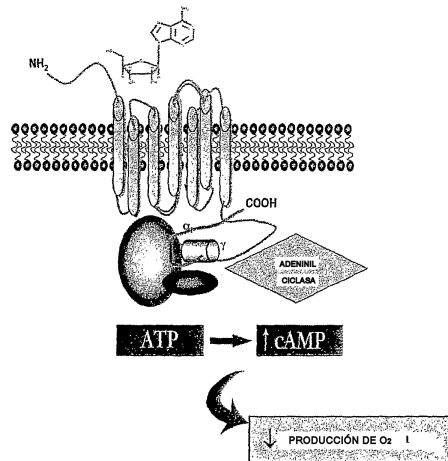


Fig.3

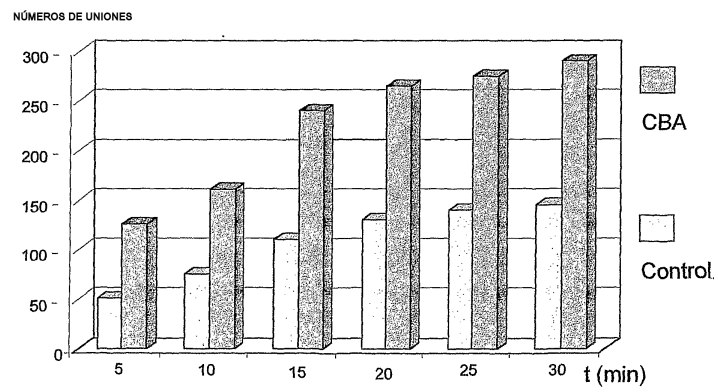


Fig.4

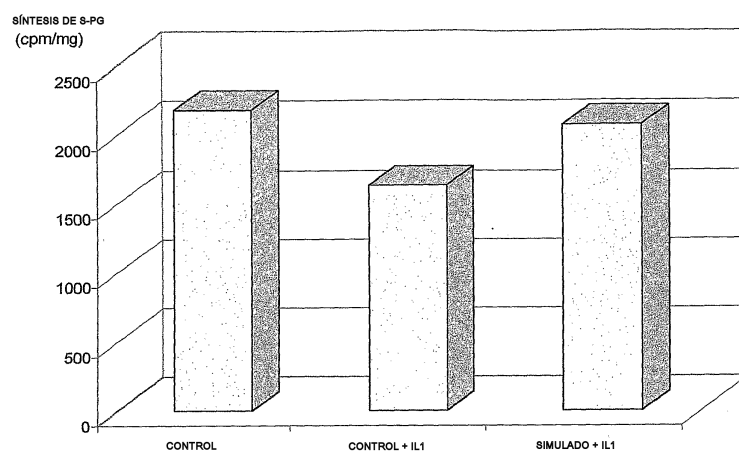


Fig.5

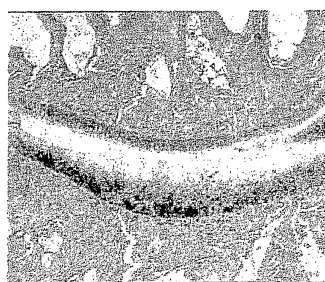


Fig.6a

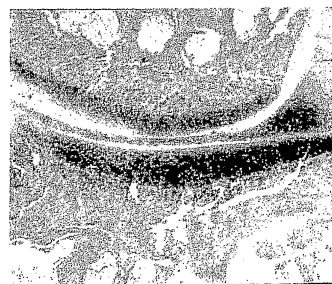


Fig.6b

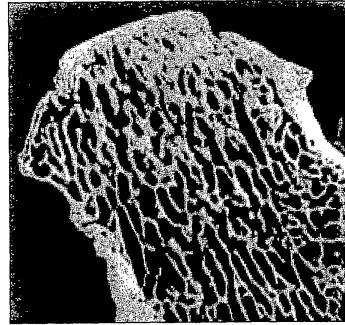


Fig.7a

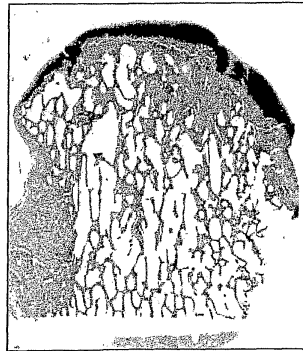


Fig.7b