

Electroterapia. Electroestimulación

F. Crépon, J.-F. Doubrère, M. Vanderthommen, E. Castel-Kremer, G. Cadet

Debido a sus efectos electrolíticos, las corrientes unidireccionales pueden causar quemaduras químicas si se aplican mal. Se usan sobre todo para el tratamiento de la hiperhidrosis. Las corrientes bidireccionales (más eficaces, confortables y seguras) se emplean para la electroestimulación analgésica y excitomotriz. El estudio de sus parámetros permite comprender sus propiedades biológicas y definir las modalidades óptimas de estimulación. La electroestimulación excitomotriz del músculo inervado se basa en corrientes de baja y muy baja frecuencia. Las corrientes de muy baja frecuencia, excitomotorias por sacudidas elementales, se indican para facilitar la circulación local, la recuperación muscular y la relajación. Las corrientes de baja frecuencia son tetanizantes, y se indican para el fortalecimiento muscular y la reeducación funcional asistida. Para verificar si el músculo está inervado o desnervado, se usa el electrodiagnóstico de estimulación y, en especial, el estudio de las cronaxias. La electroestimulación excitomotriz del músculo desnervado consiste en impulsos aislados unidireccionales o alternados, de larga duración y ajustados al incremento de la cronaxia, con el fin de producir sacudidas elementales. La electroestimulación analgésica, basada en la teoría de la puerta de entrada del dolor (gate control), se recomienda para el tratamiento de los dolores localizados. Se usan corrientes de baja frecuencia (50-100 Hz) y de baja intensidad con impulsos de muy corta duración ($\leq 100 \mu\text{seg}$). Los electrodos se aplican sobre la zona dolorosa. La electroestimulación analgésica, basada en el principio de la liberación de endorfinas, se prescribe para el tratamiento de dolores difusos. Se aplican corrientes de muy baja frecuencia ($< 10 \text{ Hz}$) y de intensidad elevada con impulsos de 200 μseg y 2 meg de duración. La superficie de los electrodos debe ser obligatoriamente superior a 100 cm^2 .

© 2008 Elsevier Masson SAS. Todos los derechos reservados.

Palabras Clave: Electroterapia; Electrodiagnóstico; Electroestimulación excitomotriz; Electroestimulación funcional; Electroestimulación analgésica (TENS); Iontoforesis; Fisioterapia

Plan

■ Introducción	1
■ Corrientes eléctricas	2
Nociones básicas	2
Corriente continua: electrólisis y galvanización	3
Corriente variable: parámetros y propiedades biológicas	4
Electroestimulación del músculo	7
Electroestimulación y dolor	12
■ Conclusión	18

■ Introducción

Con el término fisioterapia se designa al uso de agentes físicos naturales o artificiales con fines terapéu-

ticos. Estos agentes físicos son el agua, el aire, el clima, la altitud, el calor, el frío, el reposo, el movimiento, el ejercicio, el masaje, la electricidad, las ondas mecánicas producidas por las vibraciones manuales o artificiales, las ondas electromagnéticas, etc.

La electrología médica pertenece al ámbito de la física y concierne a las aplicaciones médicas de la electricidad. La electroterapia designa al empleo de la electricidad como medio terapéutico.

La electrofisioterapia se refiere a las aplicaciones de corrientes eléctricas propiamente dichas y a las de agentes físicos producidos por la electricidad: ondas mecánicas y electromagnéticas.

En la primera parte se consideran sólo las corrientes eléctricas que se aplican directamente sobre los tejidos y, en especial, la electroestimulación. Por sus propiedades analgésicas y excitomotorias, la electroestimulación

tiene gran importancia en reeducación funcional porque alivia el dolor y facilita el movimiento. Las otras técnicas de electrofisioterapia se tratan en otro artículo.

■ Corrientes eléctricas

Nociones básicas

Clasificación

La corriente eléctrica puede ser:

- de estado constante o estado variable;
- unidireccional o bidireccional.

Las propiedades y los riesgos de la corriente eléctrica varían de forma considerable según su estado y dirección (Fig. 1).

Corriente en estado constante

Es la llamada corriente continua o galvánica. La intensidad es constante y siempre es unidireccional.

La indicación fundamental es el baño galvánico para el tratamiento de la hiperhidrosis palmar y plantar o del muñón del paciente amputado.

Corriente en estado variable

La variación de la intensidad produce impulsos. Un impulso es una variación de corta duración y magnitud física con retorno al estado inicial. Los impulsos pueden ser unidireccionales o bidireccionales.

Las corrientes de baja frecuencia (BF <150 Hz) y de muy baja frecuencia (MBF <10 Hz) producen electroestimulación de los tejidos excitables (nervios y músculos) y tienen propiedades analgésicas, excitomotoras y tróficas de fundamental interés en reeducación funcional.

Corriente unidireccional

La corriente unidireccional es polarizada: los electrodos siempre van en el mismo sentido, del polo negativo (cátodo) al positivo (ánodo).

Ejerce efectos electrolíticos capaces de producir quemaduras químicas de los tejidos por formación de ácido bajo el ánodo y de base bajo el cátodo.

Para evitar quemar los tejidos es necesario:

- usar un generador de intensidad constante (o corriente constante);
- cumplir un protocolo estricto, en especial en la regulación de la intensidad y la duración de la sesión;
- nunca aplicarla a pacientes que tienen piezas metálicas en el cuerpo.

Es desagradable y puede producir una sensación de calentamiento e irritación galvánica.

En estado constante, la corriente continua se usa para el tratamiento de la hiperhidrosis en forma de baño galvánico (con muchas precauciones).

En estado variable, los impulsos unidireccionales producen un estímulo predominante en el polo negativo. Debido a sus peligros e inconvenientes, sólo se usan para estimular el músculo desnervado.

Corriente bidireccional

La corriente bidireccional es despolarizada. El polo negativo y el polo positivo se invierten con cada impulso.

Es simétrica o asimétrica de variación nula y, como carece de propiedades electrolíticas, no produce quemadura química. Su protocolo de aplicación es mucho más simple: se regula la intensidad tolerada por el paciente y la sesión no tiene límite de duración, lo que permite una mayor eficacia. Además, se puede usar en pacientes que tienen piezas metálicas, lo que amplía su campo de aplicación.

Si es asimétrica, los impulsos producen una estimulación que predomina bajo uno de los electrodos.

Es cómoda y por lo general bien aceptada por el paciente, lo que aumenta aún más su eficacia.

En vista de sus cualidades, sus propiedades terapéuticas, su comodidad e inocuidad, se la usa en casi todos los tratamientos de electroestimulación analgésica y excitomotoras.

Quemaduras eléctricas

Tipos de quemaduras

La quemadura física por efecto Joule puede producirse por todas las corrientes cuya intensidad sea suficientemente elevada.

La quemadura química se produce a causa de los efectos electrolíticos de las corrientes unidireccionales.

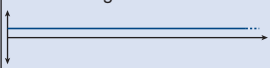
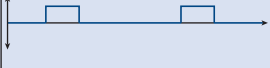
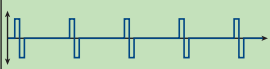
Estado	Dirección	Corriente	Propiedades Indicaciones	Ventajas Inconvenientes
Estado constante	Unidireccional	Continua o galvánica 	Baño galvánico: tratamiento de la hiperhidrosis	Electrólisis: riesgo de quemaduras químicas Interés restringido por el protocolo riguroso: intensidad y duración limitadas
		Impulsos aislados 	Electrodiagnóstico y electroestimulación del músculo desnervado	
Estado variable	Bidireccional	Baja frecuencia: <150 Hz Muy baja frecuencia: <10 Hz 	Electroestimulación analgésica y excitomotoras	Inocuidad Eficacia Indicaciones ampliadas Sensación de bienestar

Figura 1. Clasificación de las corrientes según su estado y dirección.

Cuadro I.

Tipos de quemaduras según la técnica.

	Quemadura química	Quemadura física
Electroestimulación: corriente bidireccional	0	0
Galvanización, electroestimulación: corriente unidireccional	+++	0
Termoterapia: ondas mecánicas y electromagnéticas	0	+++

Riesgos de quemaduras según la técnica empleada

El riesgo de quemadura es muy distinto según se consideren:

- las corrientes que se aplican directamente sobre la piel para practicar la galvanización y la electroestimulación;
- o la termoterapia producida por corrientes de alta frecuencia (Cuadro I).

Galvanización y electroestimulación. Dado que los electrodos se aplican directamente sobre la piel, las normas de los aparatos son muy estrictas y se usan intensidades muy bajas, de pocos mA. El efecto Joule es insignificante, por lo que no existe riesgo de quemadura física.

En consecuencia:

- una corriente bidireccional de variación nula no presenta ningún riesgo de quemadura física o química;
- una corriente unidireccional sólo expone al riesgo de quemadura química, que debe tenerse en cuenta en el protocolo de aplicación.

Termoterapia. Las corrientes de alta frecuencia permiten producir ondas electromagnéticas (ondas cortas, centimétricas e infrarrojas) y mecánicas (ultrasonidos), que pueden alcanzar temperaturas elevadas.

En termoterapia, el efecto Joule es considerable, y también lo es el calor que desprende. Por tanto, existe un riesgo de quemadura física cuando la intensidad es demasiado elevada, si el aparato está muy cerca de los tejidos o si la sesión es muy prolongada.

Contraindicaciones

Las corrientes unidireccionales están contraindicadas en presencia de anestesia o de hipoestesia de la zona que se va a tratar, y en los pacientes que tienen implantes metálicos: prótesis, osteosíntesis, grapas, dispositivo intrauterino de cobre, etc.

Las corrientes de electroestimulación de baja frecuencia están contraindicadas en el área cardíaca y la región anterolateral del cuello.

Todas las corrientes están contraindicadas en las lesiones cutáneas y los focos infecciosos, en el embarazo, en caso de flebitis o en presencia de un marcapaso o un neuromodulador.

Corriente continua: electrólisis y galvanización**Electrólisis**

La electrólisis es un fenómeno de descomposición química de algunas sustancias en solución sometidas a la acción de una corriente unidireccional, es decir, polarizadas. Tiene dos consecuencias.

Transporte de iones

Los iones negativos (o aniones) se desplazan hacia el ánodo (polo positivo) y los iones positivos (o cationes)

lo hacen hacia el cátodo (polo negativo). Algunos autores aplicaron este principio para tratar de introducir iones medicamentosos en los tejidos. Esta técnica se denomina ionización, ionoforesis, iontoforesis o dielectrólisis.

Formación de ácido o base

La electrólisis favorece la formación de ácido en el ánodo y de base en el cátodo, causando graves quemaduras químicas en los tejidos si la intensidad es demasiado alta, el protocolo de aplicación no es estricto o no se respetan las precauciones y contraindicaciones.

Dielectrólisis medicamentosa**Efectos terapéuticos**

En varias publicaciones, algunas muy antiguas (siglo XIX), se afirma que la corriente continua permite introducir sustancias a través de la piel. Otros autores no verifican ninguna transferencia transcutánea.

Son muchas las investigaciones publicadas sobre el paso a la circulación general de sustancias administradas mediante iontoforesis en el ser humano. Se probaron cuatro antiinflamatorios no esteroideos (AINE): indometacina, ketoprofeno, diclofenaco y fenilbutazona. Determinaciones cromatográficas de alto rendimiento no permitieron descubrir ningún indicio de transferencia sérica de estos productos [1].

La transferencia transcutánea de la cortisona por iontoforesis tampoco se ha comprobado. Se efectuó iontoforesis de corticoides (dexametasona 3H) en 5 pacientes que tenían un derrame articular postraumático de la rodilla, tras lo cual se procedió a una punción articular. Los resultados confirman la falta de difusión transcutánea iontoforética de la dexametasona in vivo [2].

Experimentos in vitro e in vivo (electroforesis en papel de los corticoides hidrosolubles, ensayos en modelo reducido y estudio animal) no han demostrado el paso transcutáneo de la cortisona por ionización [3].

Hay que ser prudente respecto a la penetración tisular de las moléculas por ionización. Muchos factores relativos al producto, a la localización y a la corriente eléctrica interfieren unos con otros a distintos niveles y subordinan sus capacidades de transferencia [4].

Los principios físicos de la electrólisis y la absorción cutánea se conocen bien. Sin embargo, teniendo en cuenta los estudios antes mencionados, no es posible asegurar que la electrólisis permita mejorar el paso de los iones medicamentosos a través de la piel.

Los resultados clínicos varían de forma considerable según los autores. Algunos ensayos clínicos informan efectos analgésicos [5], mientras que otros no comprueban ninguna diferencia entre los grupos tratados por iontoforesis y los grupos control [6, 7], por lo que las mejorías observadas no dependerían del tratamiento por iontoforesis.

La frecuencia de consenso acerca del tratamiento kinesiterápico del paciente lumbálgico no recomienda la iontoforesis, ya que no existe ningún estudio que demuestre la eficacia analgésica y porque la tolerancia de esta técnica no está exenta de problemas [8].

Las recomendaciones para las prácticas terapéuticas aconsejan esperar los resultados de investigaciones futuras, antes de indicar las ionizaciones como tratamiento del esguince externo del tobillo [9].

En la práctica habitual, la electroestimulación analgésica es inocua y su eficacia claramente superior a la iontoforesis, que además es responsable de muchos casos de quemaduras galvánicas.

La mención «modo de administración por ionización» se ha suprimido del prospecto de todos los medicamentos en que figuraba.

La eficacia de la dielectrólisis medicamentosa es, por tanto, controvertida, por lo que hay que ser prudente respecto a su utilidad para el tratamiento de las lesiones del aparato locomotor.

Aplicación

El paso transcutáneo es objeto de discusión, pero la técnica todavía se practica. Por lo tanto, hay que respetar un protocolo riguroso para evitar la quemadura química.

Corriente y polaridad. El producto se deposita en una compresa que se aplica sobre la piel, se cubre con una esponja humedecida y después con el electrodo, de igual signo que el ion activo del producto. Se usa una corriente continua o galvánica, o una corriente variable unidireccional.

Intensidad. Es progresiva, de la 1.^a a la 5.^a sesión: de 0,01 a 0,05 mA/cm² de superficie del electrodo más pequeño para una sesión de 30 minutos.

La intensidad sólo se aumenta cuando se ha tolerado bien la sesión precedente.

Al principio de la sesión, la intensidad aumenta de forma progresiva con el fin de evitar una sacudida de cierre por el inicio brusco de la corriente.

Al final de la sesión, la intensidad disminuye de forma progresiva para evitar una sacudida de abertura por una interrupción brusca de la corriente.

Precauciones y contraindicaciones específicas. Son idénticas a las del baño galvánico.

Baño galvánico e hiperhidrosis

Efectos terapéuticos

El baño galvánico con agua natural (agua corriente) se revela hoy como el método más simple y eficaz para tratar la hiperhidrosis palmar y plantar y la del muñón del paciente amputado [10, 11], aun cuando su modo de acción sigue siendo hipotético. El ánodo es el polo más eficaz [12, 13].

Aplicación

Baño galvánico. Se necesitan dos bañeras de plástico para sumergir por separado las palmas de las manos o las plantas de los pies. En el caso de los muñones, la inmersión se hace en dos baldes de plástico.

Para separar la piel de los electrodos sumergidos debe interponerse un entramado de plástico.

Introducir las manos o los pies a media altura en agua corriente.

Corriente continua o galvánica.

Intensidad. Es progresiva, de la 1.^a a la 5.^a sesión: de 0,01 a 0,05 mA/cm² de superficie de piel sumergida de una mano o de un pie (100-300 cm²) para una sesión de 30-40 minutos.

Para el cálculo de la intensidad no se considera la superficie del electrodo sumergido.

La intensidad sólo se aumenta cuando se ha tolerado bien la sesión precedente.

Protocolo. Hay que verificar que los potenciómetros de intensidad están en cero y sumergir las manos o los pies a media altura.

Regular la intensidad de forma progresiva.

Galvanización durante 15-20 minutos: 15 minutos al iniciar el tratamiento, aumentando de forma progresiva hasta los 20 minutos si se tolera bien.

Disminuir la intensidad de forma progresiva.

Invertir la polaridad de los electrodos y repetir.

Las manos, los pies o los muñones nunca deben sumergirse ni sacarse del agua durante el paso de la corriente, pues esto provocaría:

- una violenta sacudida de cierre o de abertura;
- un efecto de punta, es decir, una gran concentración de corriente en una superficie cutánea reducida.

Por lo tanto, previamente hay que bajar la intensidad a cero.

Precauciones. El paciente debe quitarse los objetos metálicos (anillos, joyas, etc.).

Examen previo de la piel: cualquier lesión cutánea puede concentrar la intensidad de la corriente en una superficie reducida (efecto de punta) y, en consecuencia, producir una quemadura.

Sensibilidad: los pacientes con piel clara, así como con cabellos rubios o pelirrojos, son especialmente vulnerables a la corriente galvánica.

La aparición de un eritema obliga a interrumpir el tratamiento, que sólo puede reanudarse con una intensidad menor.

Vigilancia constante: riesgo de quemadura química.

Contraindicaciones específicas. Lesión cutánea, anestesia, hipoestesia.

Piezas metálicas incorporadas, dispositivo intrauterino de cobre.

Corriente variable: parámetros y propiedades biológicas

Excitabilidad de la fibra nerviosa

La excitabilidad es la propiedad de las células que les permite responder a un estímulo.

Potencial de acción

Cuando se estimula un nervio, se produce una inversión brusca del potencial de membrana: la cara interna se vuelve positiva y la cara externa negativa durante un corto período de tiempo [14, 15]. A este pico le sucede una caída del potencial de membrana, que a continuación alcanza el valor inicial del potencial de reposo. Estos procesos eléctricos corresponden en conjunto al potencial de acción, que tiene una amplitud de unos 110 mV y una duración de alrededor de 1 msec.

Períodos refractarios. Durante el desarrollo de un potencial de acción, la excitabilidad cambia totalmente: al principio, la fibra nerviosa es totalmente inexcitable (período refractario absoluto), y después menos excitable (período refractario relativo).

Ley del todo o nada. El potencial de acción no aparece si el estímulo tiene una amplitud inferior al umbral crítico (estímulo subliminal). Si la intensidad del estímulo alcanza (estímulo liminal) o supera (estímulo supraliminal) el umbral, el potencial de acción aparece con una amplitud constante (cualquiera que sea la amplitud del estímulo), característica de la fibra estimulada.

Electroestimulación

Ley fundamental. La electroestimulación consiste en desencadenar un potencial de acción mediante un impulso cuya intensidad liminal o umbral (I) aumenta cuando su duración (t) disminuye según la relación: $I = q/t + i_0$.

En esta ecuación:

- q es la cantidad de cargas eléctricas que forman el impulso;
- i_0 es la intensidad mínima para estimular con un impulso de duración infinita.

Reobase. Si $t = \infty$, la ecuación sería $I = i_0 = R$.

La reobase (R) es la intensidad mínima necesaria para estimular con un impulso de comienzo brusco y duración infinita (Fig. 2).

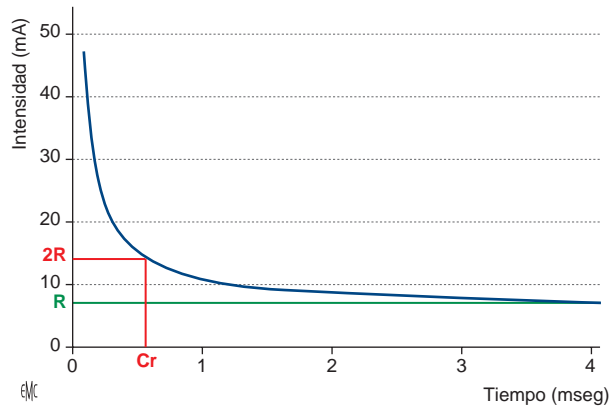


Figura 2. Electroestimulación: relación intensidad-duración. Rebase (R): intensidad mínima de un impulso de inicio brusco y duración infinita que alcanza el umbral de excitación. Cronaxia (Cr): duración mínima de un impulso rectangular (cuya intensidad es el doble de la rebase) para alcanzar el umbral de excitación.

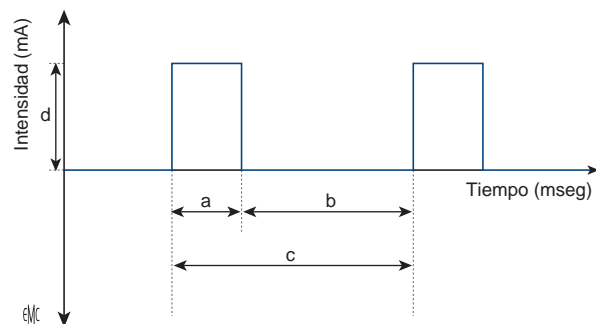


Figura 3. Impulsos rectangulares: intensidad, duración, frecuencia. a: duración del impulso (mseg o μ seg); b: espaciamiento (mseg); c: período (mseg) determinante de la frecuencia (Hz); d: intensidad (mA).

Entonces, en caso de impulso rectangular, la relación puede escribirse: $I = q/t + R$.

Cronaxia. Si $I = 2R$, la ecuación se convierte en $2R = q/t + R \leftrightarrow R = q/t \leftrightarrow t = q/R = Cr$.

La cronaxia (Cr) es la duración mínima necesaria para estimular con un impulso cuya intensidad es el doble de la rebase (Fig. 2).

Parámetros y propiedades de los impulsos

Intensidad, duración del impulso y frecuencia

La estimulación y la sensación que recibe el paciente son directamente proporcionales a la duración del impulso (Fig. 3a).

La estimulación y la sensación que recibe el paciente son directamente proporcionales a la intensidad del impulso (Fig. 3d).

La frecuencia, inversamente proporcional al período (Fig. 3c), define las propiedades biológicas de los impulsos.

Relación intensidad-duración

Cuanto más disminuye la duración de un impulso, más debe aumentarse su intensidad para alcanzar una estimulación equivalente (Fig. 4b y c).

Pendiente o tiempo de establecimiento

Un impulso progresivo tiene un tiempo de establecimiento superior a 2 mseg (Fig. 5a).

El tiempo de establecimiento, también llamado pendiente, es un factor de ineficacia y de dolor:

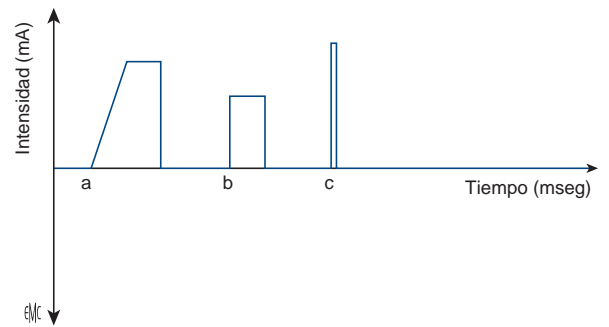


Figura 4. Impulsos unidireccionales. a: impulso progresivo; b: impulso rectangular; c: impulso rectangular de corta duración.

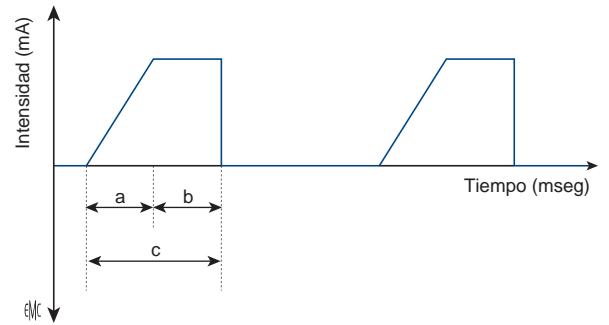


Figura 5. Impulso progresivo. a: duración de establecimiento del impulso (mseg); b: duración del pico del impulso (mseg); c: duración del impulso (mseg).

- si el tiempo de establecimiento aumenta sin que aumente la intensidad, la respuesta desaparece cuando se alcanza la pendiente máxima;
- si se aumenta el tiempo de establecimiento, hay que aumentar la intensidad para mantener la respuesta, y el estímulo es más desagradable.

Cuando una corriente se establece de forma progresiva, puede alcanzar intensidades elevadas sin provocar excitación, mientras que, con las mismas intensidades, una corriente que se establece de forma instantánea supera el umbral. El umbral de excitación sería menos elevado cuando la corriente se establece instantáneamente (Fig. 4a y b) [16, 17].

Un impulso rectangular cuya intensidad se establece instantáneamente se conoce también como impulso de comienzo brusco o de frente empinado (Fig. 4b). Es más confortable que un impulso progresivo (Fig. 4a), ya que es igualmente eficaz con una intensidad inferior.

Dirección

Un impulso unidireccional tiene propiedades electro-líticas (Figs. 4 y 6a).

Un impulso bidireccional tiene una variación nula cuando las cantidades de electricidad a cada lado de la línea isoelectrica son iguales; en tal caso, no tiene propiedades electro-líticas.

Entonces, un impulso bidireccional simétrico siempre tiene una variación nula (Fig. 6b).

Un impulso bidireccional asimétrico debe tener una variación nula para no provocar electrólisis (Fig. 6c).

Modulaciones

Una modulación es una variación de los parámetros. Pueden hacerse variar uno o más parámetros: duración, amplitud, frecuencia. La «wobulación» es una variación progresiva y periódica que permite hacer el barrido de un área de frecuencias.

Las modulaciones modifican la percepción de la corriente por el paciente y los efectos biológicos: tipo de

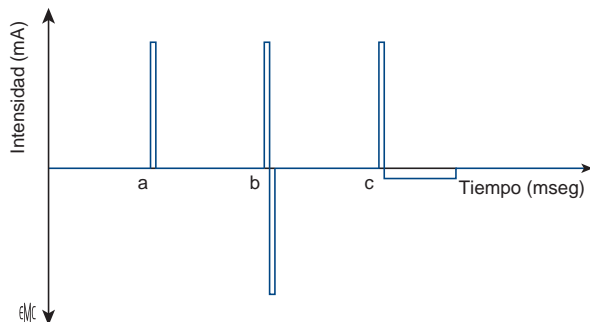


Figura 6. Dirección de los impulsos. a: impulso unidireccional; b: impulso bidireccional simétrico; c: impulso bidireccional asimétrico con variación nula: las cantidades de electricidad son idénticas a uno y otro lado de la línea isoelectrónica.

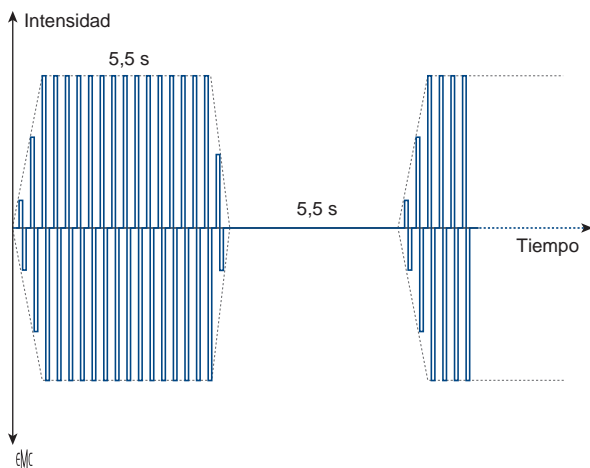


Figura 7. Corriente intermitente. Tiempo de trabajo TT y tiempo de reposo TR. Curva envolvente progresiva (en línea de puntos), impulsos rectangulares.

contracción muscular (sacudida elemental o tetanización), tipo de estimulación analgésica (*gate control* o liberación de endorfinas), prevención de la habituación, etcétera.

Corriente intermitente

Se denomina tiempo de trabajo (TT) al tiempo de paso de la corriente (tren de impulsos) y tiempo de reposo (TR) al tiempo de interrupción de la corriente. El TR debe ser igual o superior al TT. Esta corriente se aplica para tetanizar los músculos inervados.

La curva envolvente del TT puede ser progresiva y, de esta manera, la estimulación es más confortable, pero los impulsos que componen este TT siempre deben ser rectangulares (Fig. 7).

El desencadenamiento del TT y del TR puede ser:

- automático, programado por el generador;
- o manual, operado por el paciente para acompañar a la reeducación activa asistida por electroestimulación.

Parámetros de los impulsos óptimos

La corriente de electroestimulación óptima se caracteriza por ser la más eficaz, la más confortable y la más segura. Sus parámetros (inicio, duración, dirección y frecuencia) deben permitirle alcanzar el umbral de excitabilidad con la menor energía eléctrica posible y sin producir efectos electrolíticos (Fig. 8).

Inicio: brusco, rectangular = eficacia + bienestar

El impulso rectangular es más eficaz y más confortable que un impulso progresivo, puesto que produce una estimulación idéntica con una intensidad menor.

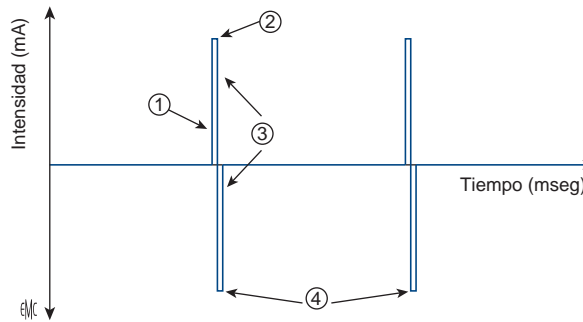


Figura 8. Parámetros de los impulsos óptimos. 1. Comienzo: brusco, rectangular = eficacia + bienestar; 2. duración: breve, adaptada = bienestar + eficacia; 3. dirección: variación nula = inocuidad + bienestar + eficacia; 4. frecuencia: baja o muy baja = efectos terapéuticos analgésicos y excitomotores.

Duración: breve, adaptada = bienestar + eficacia

Para ser eficaz, la duración del impulso debe ser suficiente, pero para ser confortable no debe superar la duración útil. La duración óptima, que es un equilibrio entre la eficacia y la tolerancia, corresponde a la cronaxia del axón estimulado [18, 19].

Dirección: variación nula = inocuidad + bienestar + eficacia

Los impulsos bidireccionales de variación nula son:

- más seguros, puesto que la falta de efectos electrolíticos previene el riesgo de quemadura química;
- más agradables, dado que no causan una sensación de irritación galvánica;
- más eficaces, puesto que al tolerarse mejor y carecer de riesgos, permiten hacer aplicaciones de larga duración, incluso con intensidades elevadas y en zonas que contienen piezas metálicas.

Frecuencia: baja o muy baja = efectos terapéuticos

Las corrientes de baja frecuencia (inferior a 150 Hz) y muy baja frecuencia (menos de 10 Hz) compatibles con las frecuencias fisiológicas, son las únicas que tienen utilidad analgésica [20] y excitomotriz. La frecuencia de los impulsos se escoge en función del objetivo de la estimulación eléctrica y del tipo de fibra que se ha de despolarizar de forma prioritaria.

Tipos de corrientes

Combinando frecuencias, duraciones e intensidades, se obtienen efectos distintos: analgésicos, excitomotores y tróficos.

Existen tres tipos principales de corrientes de electroestimulación (Fig. 9).

- BF BI (baja frecuencia, 50-100 Hz, baja intensidad):
 - analgésica por *gate control* (duración del impulso $\leq 0,1$ mseg).
- MBF IE (muy baja frecuencia, 2-8 Hz, intensidad elevada):
 - excitomotriz por sacudidas elementales (duración del impulso: 0,1-0,6 mseg);
 - analgésica por liberación de endorfinas (duración del impulso: 0,2-2 mseg).
- BF IT (baja frecuencia, 20-80 Hz, intensidad suficiente para tetanizar):
 - excitomotriz tetanizante (duración del impulso: 0,1-0,6 mseg).

Estas tres clases de corrientes se ajustan a los cuatro parámetros de los impulsos óptimos, y pueden perfeccionarse con características específicas y modulaciones que les confieren propiedades complementarias con el fin de aumentar su eficacia [21].

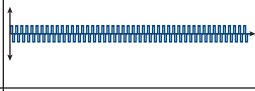
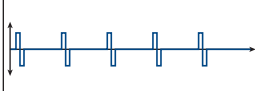
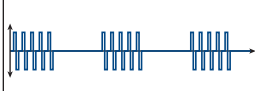
Parámetros	Tipos de corriente	Propiedades	Indicaciones
BF BI Baja frecuencia 50-100 Hz Baja intensidad		Analgésica por gate control (duración del impulso: $\leq 0,1$ mseg)	Dolores localizados
TBF IE Muy baja frecuencia 2-8 Hz Intensidad elevada		Analgésica por liberación de endorfinas (duración del impulso: 0,2-2 mseg) Excitomotriz por sacudidas elementales (duración del impulso: 0,1-0,6 mseg)	Dolores difusos Reacción muscular
BF IT Baja frecuencia 20-80 Hz Intensidad suficiente para tetanizar		Excitomotriz tetanizante (duración del impulso: 0,1-0,6 mseg)	Amiotrofias Fortalecimiento muscular

Figura 9. Tipos de corrientes.

“ Punto esencial

Cualquier electroestimulación analgésica o excitomotriz debe respetar de forma imperativa los parámetros de los impulsos óptimos. De lo contrario, sería menos eficaz, menos confortable e incluso peligrosa.

Electroestimulación del músculo

Fisiología y excitabilidad neuromuscular

Unidad motriz

La unidad motriz es el conjunto formado por la motoneurona (célula de gran diámetro cuyo cuerpo se halla en la médula espinal), el axón y las fibras musculares correspondientes.

Suma temporal: influencia de la frecuencia de estimulación

La excitación de la motoneurona por un potencial de acción único causa una respuesta motora única que recibe el nombre de sacudida elemental. La duración del potencial de acción es del orden del milisegundo. La duración de la sacudida muscular va de 10 mseg para los músculos más rápidos a 100 mseg para los más lentos.

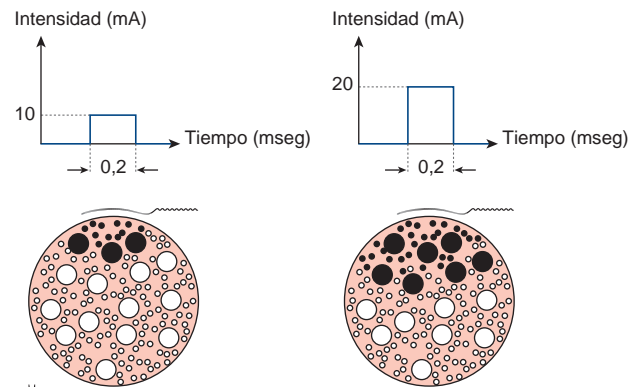
Cuando el músculo es atravesado por una sucesión de potenciales de acción distintos y con una frecuencia superior a 10 Hz, se asiste a una fusión de los procesos mecánicos, denominado tetanización, que desarrolla un nivel de tensión claramente mayor que el registrado durante una simple sacudida muscular [15, 22].

Las unidades motoras lentas de tipo I comienzan a fusionarse cuando la frecuencia alcanza 10 Hz y se tetanizan perfectamente en torno a los 30 Hz. Con esta frecuencia, las unidades motoras rápidas de tipo IIB comienzan a sumarse y se tetanizan perfectamente en torno a los 65 Hz [23, 24].

Suma espacial: influencia de la intensidad de estimulación

La selección de nuevas unidades motoras también permite aumentar la fuerza desarrollada por un grupo muscular.

La contracción muscular electroinducida se caracteriza por una actividad metabólica considerable en las zonas

**Figura 10.** Suma espacial. Selección de las unidades motoras según la intensidad de la corriente.

superficiales del músculo, comparadas con las zonas profundas, que indican una selección espacial relativamente superficial [25]. Esta selección específica de la electroestimulación transcutánea es producto de la propagación de la corriente por los tejidos a partir de zonas situadas bajo el electrodo cutáneo. Las primeras en activarse son entonces las unidades motoras superficiales, y a continuación la selección alcanza a las unidades motoras situadas más profundamente a medida que la intensidad de la corriente aumenta [26] (Fig. 10).

Efectos sobre el músculo inervado

Efectos metabólicos

La contracción electroinducida provoca una activación energética global considerable, muy superior a la generada por una contracción voluntaria y comparable desde el punto de vista de la fuerza desarrollada [27].

Esta activación metabólica, exagerada por la electroestimulación, se interpreta del modo siguiente [28]:

- la electroestimulación induce la selección continua de la misma población de unidades motoras durante todo el esfuerzo, y el sistema nervioso central repone con regularidad la reserva de unidades motoras en actividad;
- la frecuencia de estimulación es a menudo cercana a la frecuencia máxima de descargas espontáneas de las unidades motoras más rápidas (fibras IIB);
- el músculo esquelético se activa de manera asincrónica por el esfuerzo voluntario, mientras que la electroestimulación selecciona de modo sincrónico las fibras musculares inervadas por una motoneurona.

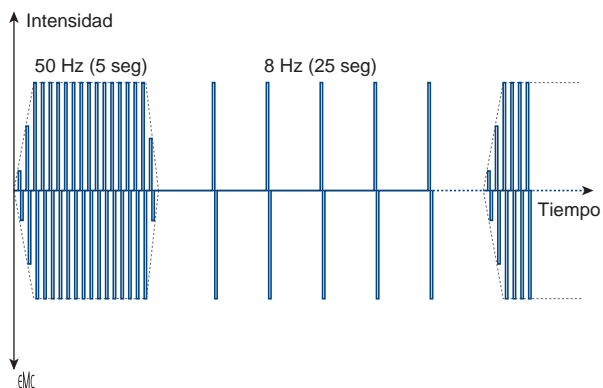


Figura 11. Corriente BF IT y MBF IE asociadas. Fase de tetanización y fase de sacudidas elementales.

Niveles de fuerza alcanzados

La contracción voluntaria genera más fuerza muscular que la contracción eléctrica. Con la estimulación eléctrica puede desarrollarse el 50-60% de la fuerza isométrica voluntaria máxima [29].

Rehabilitación

La mejora de la fuerza voluntaria es directamente proporcional a la intensidad de la contracción obtenida en las sesiones de rehabilitación. La eficacia del tratamiento y la reeducación electroinducida requiere, por lo tanto, parámetros de estimulación adecuados y una intensidad elevada de estimulación al máximo nivel tolerado por el paciente.

Programas de electroestimulación

Corrientes BF IT y MBF IE asociadas, excitomotrices para tratamiento de la amiotrofia

Estas corrientes, empleadas en el período de inmovilización completa o segmentaria, están formadas por una alternancia de fases de contracciones tetanizantes (50 Hz) de 5 segundos de duración y no tetanizantes (8 Hz) de 25 segundos de duración [30] (Fig. 11). El tratamiento dura unos 60 minutos.

Corrientes BF IT excitomotrices de fortalecimiento muscular

Estas corrientes tetanizantes se aplican cuando el paciente reanuda sus actividades funcionales básicas o para el control postoperatorio de una intervención quirúrgica en el aparato locomotor [31, 32].

La alternación de contracciones tetanizantes (50 Hz) de unos 5 segundos de duración y con igual tiempo de reposo, permite activar el músculo con las características de descarga de las fibras rápidas (Fig. 7). El tratamiento dura 20 minutos. La progresión consiste en aumentar la frecuencia hasta unos 80 Hz y, de forma paralela, el tiempo de reposo hasta 10 segundos.

Corrientes MBF IE excitomotrices de recuperación después del esfuerzo

Estas corrientes no tetanizantes (frecuencia inferior a 10 Hz) se aplican durante unos 20 minutos. Se han estudiado sus efectos sobre la calidad de la recuperación de la función muscular tras esfuerzos máximos o submáximos. Estas corrientes se revelan superiores a una recuperación pasiva, en términos de desaparición de los dolores residuales y de velocidad de restauración de las potencialidades musculares. Sin embargo, esta eficacia no es superior a la de una recuperación activa clásica. Los efectos de estas corrientes pueden explicarse por

acción analgésica e incremento del flujo sanguíneo muscular, de origen mecánico (efecto de bomba) y metabólico al mismo tiempo [33, 34].

Electroestimulación y reeducación

La electroestimulación muscular o electromioestimulación forma parte de las técnicas de reeducación funcional de forma complementaria, y no las sustituye. Según el objetivo que se persiga, se distinguen dos modalidades de aplicación.

Electroestimulación programada

En la mayoría de los casos en que el objetivo es básicamente trófico, la electroestimulación se aplica conforme a un programa establecido.

Reeducación asistida y electroestimulación controlada

Si el objetivo es la corrección de un trastorno ortopédico, el aprendizaje de un movimiento o de una función (y esto es válido para cualquier clase de reeducación propioceptiva), se aplican técnicas activas e interactivas.

Reeducación asistida. El paciente combina una contracción activa con la contracción electroinducida, lo que permite mantener el control voluntario. De esta forma, la electroestimulación participa en la recuperación propioceptiva, inicia, guía, asiste y fortalece la contracción voluntaria.

Electroestimulación controlada. Antes de imponer un ritmo de trabajo/ reposo programado que sustituya al control voluntario, es preferible usar un disparador controlado por el paciente, que le permite:

- usar la electroestimulación en el momento oportuno del movimiento activo, es decir, al principio para darle comienzo y guiarlo, durante el movimiento para acompañarlo o al final para completarlo;
- regular el tiempo de actividad eléctrica que puede soportar y un tiempo de reposo adecuado a sus necesidades.

Además, esta técnica tranquiliza al paciente, que deja de temer la llegada automática de los trenes de impulsos [21].

Aplicaciones

Reeducación funcional

Inmovilizaciones y trastornos tróficos. La asociación de corrientes BF IT y MBF IE, excitomotrices para el tratamiento de la amiotrofia, son útiles en el período de inmovilización (Fig. 12).

Fortalecimiento muscular. Las corrientes BF IT excitomotrices de fortalecimiento muscular permiten acelerar la recuperación muscular (Fig. 13).

Corrección de trastornos ortopédicos. La electroestimulación participa en las técnicas de recuperación del eje de de la rótula, de la cabeza humeral o del centro de gravedad. Se usan corrientes BF IT excitomotrices de fortalecimiento muscular (Fig. 14).

Contracturas. Frecuentes en reumatología y traumatología, las contracturas (por ejemplo, las que acompañan a la coxartrosis) pueden tratarse con la técnica de contracción-relajación electroinducida.

En los músculos contracturados en posición de recorrido externo, la electroestimulación se hace con corrientes:

- MBF IE, excitomotrices por sacudidas elementales;
- BF IT, excitomotrices tetanizantes, en las que la intensidad de los impulsos aumenta de forma progresiva y luego baja a cero de modo instantáneo.

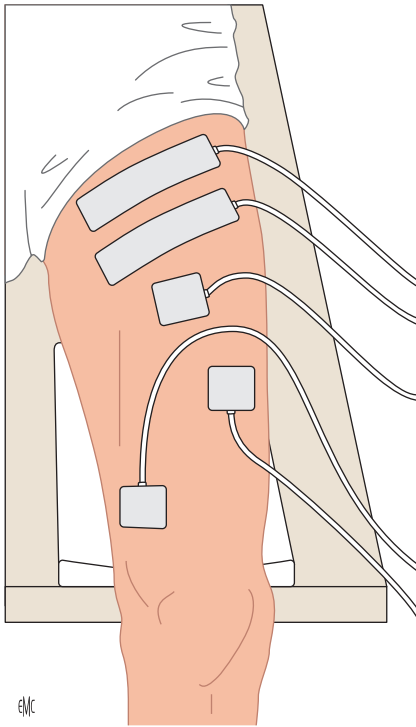


Figura 12. Amiotrofia del músculo cuádriceps femoral. Posición del paciente: sentado o acostado, rodilla en flexión de 60°. En caso de condropatía patelar con rótula estable: rodilla en flexión de 5°. Corrientes BF IT y MBF IE.

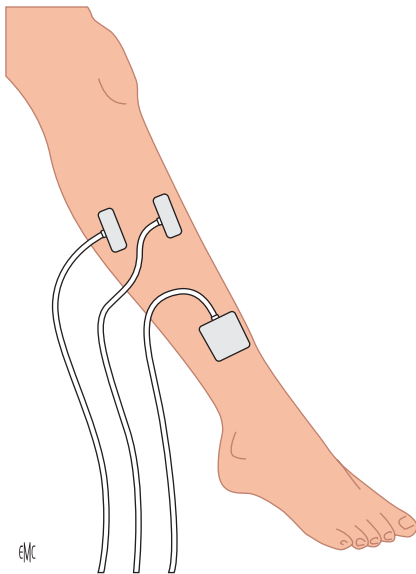


Figura 13. Fortalecimiento de los músculos peroneo largo y tibial anterior. Posición del paciente: 1.ª fase, pie sin apoyo; 2.ª fase, pie con apoyo. Reeducción muscular por esguince del ligamento peroneo colateral del tobillo. Corrientes BF IT para el fortalecimiento. Corrientes MBF IE para la recuperación tras el esfuerzo.

La electroestimulación se aplica también a los músculos antagonistas en posición de recorrido interno con corrientes BF IT.

Reeducción respiratoria

Reeducción asistida de músculos espiratorios. La electroestimulación de los músculos abdominales, controlada por el paciente, permite asistir a los ejercicios de espiración activa [21]. Se emplean corrientes BF IT, excitomotrices tetanizantes (Fig. 15).

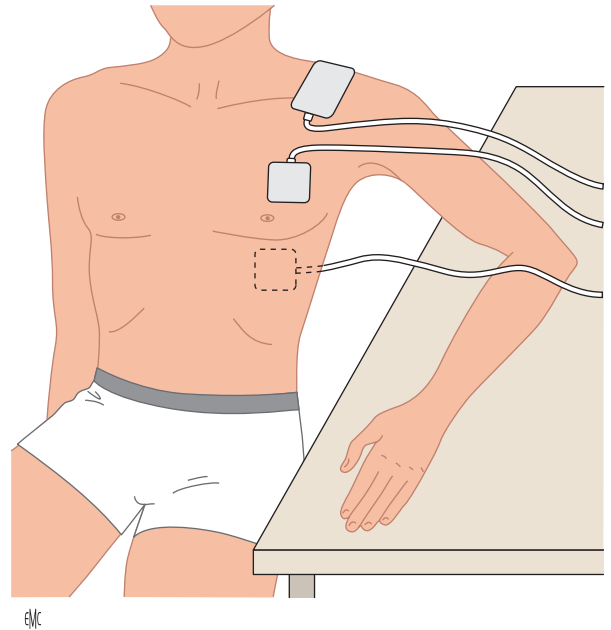


Figura 14. Centrado de la cabeza humeral. Posición del paciente: con el brazo en abducción y el codo apoyado, la electroestimulación simultánea de los músculos dorsal ancho y pectoral mayor provoca el descenso de la cabeza humeral en la cavidad glenoidea. Reeducción asistida del trastorno acromirotuberositario. Corrientes BF IT.

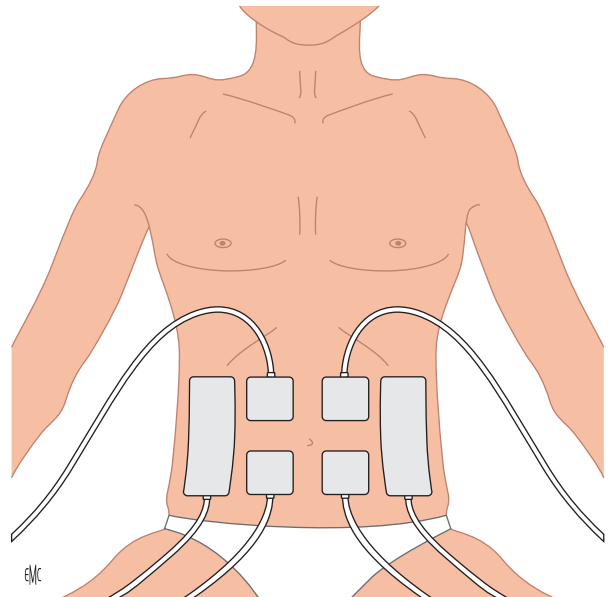


Figura 15. Electroestimulación de los músculos abdominales. Posición del paciente: sentado, en decúbito, o en cualquier posición que permita el trabajo de los músculos abdominales. Si el efecto buscado es el fortalecimiento abdominal, el paciente desencadena los trenes de impulsos durante la contracción activa para asistirla, o al final de la contracción para completarla. Si el efecto buscado es ventilatorio, la estimulación se desencadena en la fase espiratoria o al final de ésta. Corrientes BF IT.

Flexibilización torácica. La electroestimulación de los músculos toracoabdominales participa en los ejercicios de flexibilización del tórax en la reeducación de las secuelas pleurales y parietales de la cirugía torácica [21]. Se usan corrientes TBF IE, excitomotrices por sacudidas elementales a 2 Hz.

Reeducción neurológica

Estimulación eléctrica funcional (EEF). La EEF se practica en neurología central con aparatos portátiles

para tratar la marcha equina, la subluxación inferior del hombro hemipléjico, el síndrome hombro-mano del hemipléjico, etc.

En la fase de balanceo, la EEF de la marcha equina produce una flexión dorsal del tobillo equilibrada en el plano frontal, y en la fase de apoyo una distribución homogénea del peso del cuerpo. La intensidad de la corriente BF IT se regula previamente del siguiente modo: primero sobre el recorrido del músculo tibial anterior para obtener una flexión dorsal satisfactoria, y después sobre el músculo peroneo largo para corregir la posición del pie en inversión y, por consiguiente, disponerlo en el eje en el plano frontal (Fig. 13). Esta estimulación se efectúa durante todo el ciclo (estimulación continua) o sólo en la fase de balanceo con ayuda de un interruptor ubicado debajo del pie del paciente.

Heminegligencia. La electroestimulación transcutánea aplicada sobre la columna cervical del lado opuesto a la lesión reduce la inestabilidad postural en pacientes con heminegligencia a causa de un accidente cerebrovascular (ACV). En pacientes que no presentan heminegligencia no se ha observado ningún efecto [34].

Parálisis periféricas. Los músculos desnervados no pueden ni deben ser estimulados con las corrientes BF IT y MBF IE, sino únicamente con impulsos aislados de larga duración (cf infra).

Reeducación perineal

Incontinencia urinaria de esfuerzo (IUE). La IUE se caracteriza por pérdidas involuntarias de orina ante esfuerzos considerables (tos, deporte) o mínimos. La IUE es la consecuencia de un defecto del sistema de cierre de la vejiga. Éste se altera tras un parto distócico, una intervención quirúrgica en la pelvis (prostatectomía), una neuropatía periférica o una carencia estrogénica en la mujer menopáusica.

La electroestimulación vuelve consciente la contracción de los músculos perineales y permite su fortalecimiento [35]. El aumento de presión que produce el esfuerzo de retención voluntaria (ERV) se determina mediante el registro de la presión uretral [36].

La electroestimulación excitomotriz de las IUE se aplica en los músculos de sostén del periné con un electrodo endocavitario y con corrientes:

- MBF IE, excitomotoras por sacudidas elementales, para ir familiarizando al paciente;
- y después BF IT, excitomotoras tetanizantes, en reeducación activa con desencadenamiento de los trenes de impulsos por el propio paciente.

Según el criterio de la energía mínima disipada, en reeducación urogenital las duraciones de los impulsos se extienden entre 230 μ seg-1 mseg. Por debajo, el efecto excitomotor es insuficiente en condiciones de buena tolerancia y de seguridad [37].

Incontinencia de urgencia. La incontinencia urinaria de urgencia se caracteriza por pérdidas involuntarias de orina tras una necesidad imperiosa, difícil de postergar, que se acompañan de polaquiuria (>8 micciones/24 h). Se trata de una hiperactividad vesical (o inestabilidad vesical), es decir, de una contracción no inhibida del detrusor ante un volumen vesical reducido. Esto es consecuencia de una activación anómala del parasimpático. Las causas de la disfunción son numerosas: locorreionales, neurológicas o idiopáticas.

La electroestimulación participa en:

- la inhibición de los centros medulares sacros parasimpáticos mediante los reflejos del cono medular, cuya vía aferente es el nervio pudendo;
- la mejora de la contracción de los músculos perineales, punto de partida de esta inhibición [38].

La electroestimulación excitomotriz se practica con corrientes MBF IE [39], excitomotoras por sacudidas

elementales aplicadas sobre los músculos del periné con un electrodo endocavitario. Las frecuencias más eficaces están alrededor de los 4 Hz.

Recientemente se ha creado un nuevo protocolo de estimulación no invasiva con electrodos transcutáneos que se aplican sobre el nervio tibial posterior, en la zona del canal retromaleolar interno, con una frecuencia de 10 Hz. Los resultados indican un efecto objetivo sobre los parámetros urodinámicos. Los autores creen que estos resultados son un argumento alentador para indicar la estimulación del nervio tibial posterior como modalidad de tratamiento en la práctica clínica [40].

Músculo desnervado: electrodiagnóstico

La reobase y la cronaxia ya se han definido. El electrodiagnóstico de estimulación se basa en el estudio de la cronaxia. Se practica sobre todo el músculo afectado por la desnervación, y pone de relieve la interrupción de la conducción nerviosa a la altura de la motoneurona periférica. Esta exploración simple, indolora y no invasiva, permite valorar la desnervación, instaurar el tratamiento y controlar la evolución.

Tras la desnervación del tibial anterior en el conejo, la reobase aumenta de forma transitoria, mientras que la cronaxia va aumentando en el curso de las 2 primeras semanas y se mantiene elevada [41].

Medición de la reobase

La reobase es la intensidad mínima de un impulso de comienzo brusco y duración infinita que alcanza el umbral de excitación.

Se usan impulsos rectangulares de 100 o 300 mseg de duración y aislados, es decir, con un espaciamiento superior a 1 segundo, de manera tal que las respuestas musculares consisten en simples sacudidas elementales separadas por intervalos regulares. La intensidad se incrementa de forma progresiva hasta el umbral de respuesta. La reobase se mide en miliamperios (mA) y permite medir la cronaxia.

Medición de la cronaxia

La cronaxia es la duración mínima de un impulso rectangular con el doble de intensidad de la reobase necesaria para alcanzar el umbral de excitación.

Se usan impulsos rectangulares y aislados con el doble de intensidad de la reobase. La duración del impulso se aumenta de forma progresiva cada 100 μ seg hasta llegar al umbral de respuesta. La cronaxia se mide en milisegundos (mseg) o en microsegundos (μ seg).

Resultados

La cronaxia de un músculo normalmente inervado es inferior a 1 mseg: 100-600 μ seg. El aumento de la cronaxia por encima de 5 mseg es signo de desnervación completa [42].

La fibra muscular normalmente inervada responde a un impulso de corta duración (<1 mseg) con una contracción rápida.

La fibra muscular desnervada responde únicamente a un impulso de larga duración, tanto más prolongado cuanto más elevada sea la cronaxia, con una contracción lenta.

Reacción de degeneración. La reacción de degeneración, o reacción de enlentecimiento, es un conjunto de fenómenos que indican la interrupción de la conducción nerviosa a la altura de la motoneurona periférica:

- inexcitabilidad del nervio ante impulsos de corta o larga duración;
- inexcitabilidad del músculo ante impulsos de corta duración;

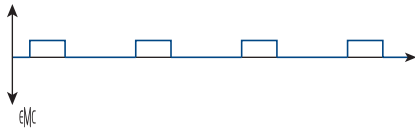


Figura 16. Impulsos unidireccionales de polaridad fija. Impulsos aislados de larga duración y destinados a estimular el músculo desnervado.

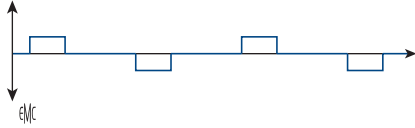


Figura 17. Impulsos de polaridad alternada. Impulsos aislados de larga duración y destinados a estimular el músculo desnervado.

- respuesta lenta de los músculos ante impulsos de larga duración;
- reacción longitudinal.

Reacción longitudinal. La reacción longitudinal es una excitabilidad más intensa del músculo desnervado ante impulsos de larga duración, cuando los dos electrodos se colocan en sus extremidades.

Músculo desnervado: tratamiento

Indicaciones: beneficios y límites de la electroestimulación

Las lesiones de los nervios periféricos obedecen a múltiples causas: polineuritis, polirradiculoneuritis, multineuritis, enfermedades de la motoneurona α , compresiones o traumatismos nerviosos, lesiones postirradiación, etc.

La desnervación provoca una parálisis flácida y una atrofia grave de los músculos, lo que lleva a considerar la estimulación eléctrica para recuperar su función [43]. La electroestimulación debe ajustarse a las características del músculo desnervado [44-49].

La electroestimulación del músculo desnervado se practica durante la fase de parálisis periférica, hasta la reinervación, para prevenir el desarrollo de la atrofia y la fibrosis por inactividad muscular. Su utilidad es discutida. Varios autores comunican resultados favorables respecto a la troficidad muscular [50], la densidad ósea [51], la velocidad de conducción y al período refractario [52]. Para otros autores no presenta ninguna utilidad.

Los electrodos pueden implantarse por método quirúrgico. En un varón joven afectado por una lesión de la médula espinal y desnervación parcial de los extensores de la rodilla, la estimulación eléctrica se hizo con un electrodo percutáneo implantado cerca del nervio femoral. Así se consiguió aumentar la circunferencia del muslo, pero los resultados no se mantuvieron tras finalizar el tratamiento [53].

Parámetros de los impulsos

En el caso de una desnervación periférica, se usan los impulsos:

- unidireccionales de polaridad fija (Fig. 16), o de polaridad alternada para dirigir la estimulación predominante en cada electrodo, uno después del otro (Fig. 17);
- aisladas, es decir, separadas por intervalos de 1 segundo como mínimo; el tiempo de reposo es más largo a medida que aumenta la cronaxia;
- rectangulares, más eficaces y con una intensidad menor, y por lo tanto mejor tolerados;
- de larga duración (5-100 mseg), ajustados al aumento de la cronaxia.



Figura 18. Electroestimulación de los músculos elevadores del pie. En los casos de desnervación, se aplica una estimulación longitudinal con impulsos aislados de larga duración.



Figura 19. Electroestimulación de los músculos epicondíleos. En los casos de desnervación, se aplica una estimulación longitudinal con impulsos aislados de larga duración.

La duración del impulso debe ser suficiente para contraer, aunque habrá que buscar la duración más breve eficaz dentro de la tolerancia del paciente.

Protocolo de electroestimulación

Los electrodos se aplican sobre el músculo en sentido longitudinal [54], buscando las zonas en las que se obtiene la mejor respuesta a una intensidad determinada (Figs. 18 y 19). Para evitar los efectos nocivos resultantes de un exceso de estímulos, se aplican menos de 10 impulsos por día y por músculo.

La duración del impulso se reduce de forma proporcional a la disminución progresiva de la cronaxia. Al producirse la reinervación empieza a aparecer la contracción activa, que después aumenta de forma gradual. En este momento, se sustituye progresivamente la electroestimulación por la reeducación activa.

Dado que las corrientes tetanizantes (20-80 Hz) están contraindicadas por completo en las fibras musculares desnervadas, no se las aplica, ni siquiera en esta fase, con el fin de no obstaculizar la reinervación de las últimas unidades motoras.

Técnicas complementarias

Contracción activa o movimiento imaginado. Para mantener el esquema motor, el paciente debe acompañar a las estimulaciones electroinducidas:

- de una contracción activa si el músculo está parcialmente desnervado;

- de un movimiento imaginado si el músculo está totalmente desnervado.

Movilización pasiva. Las movilización pasivas, sobre todo en forma de estiramientos moderados, junto con la electroestimulación, se complementan en el tratamiento profiláctico de la fibrosis.

Precauciones

En vista de los riesgos de quemadura química de los tejidos, la aplicación de las corrientes unidireccionales exige:

- el cumplimiento estricto del protocolo citado y las contraindicaciones;
- una valoración minuciosa del estado de la piel subyacente a los electrodos y una vigilancia continua;
- el uso exclusivo de electrodos cubiertos por una almohadilla esponjosa bien humedecida;
- la exclusión de los otros tipos de electrodos, sobre todo los autoadhesivos.

“ Puntos esenciales

La electroestimulación del músculo desnervado implica el cumplimiento del protocolo siguiente:

- la duración del impulso rectangular debe ser lo suficientemente prolongada como para estimular la fibra muscular desnervada, pero limitada a la duración eficaz en términos de buena tolerancia;
- la cantidad de estimulaciones debe ser inferior a 10 por día y por músculo;
- la electroestimulación debe acompañarse de una contracción voluntaria o de un movimiento imaginado;
- la electroestimulación debe completarse con movilización pasivas efectuadas con prudencia.

Electroestimulación y dolor

El dolor es una experiencia sensorial y emocional desagradable resultante de una lesión tisular o que se expresa en términos de una lesión de ese tipo (International Association for the Study of Pain [IASP]).

Bases fundamentales de neurofisiología

Vías de la nocicepción

Receptores periféricos. Estos receptores están en la piel, los músculos, las vísceras y las articulaciones. Un estímulo nociceptivo (mecánico, térmico, químico) causa excitación de las terminaciones libres Aδ (poco mielinizadas) y C (no mielinizadas), que son de pequeño calibre y conducción nerviosa lenta. Esta excitación es transmitida por numerosas sustancias algógenas, como la sustancia P [55].

Asta dorsal de la médula. Por el nervio periférico, el impulso nociceptivo alcanza el asta dorsal de la médula, donde se conecta con otras neuronas que van a formar las vías ascendentes. Allí se encuentran las llamadas neuronas convergentes, que reciben las informaciones sensitivas procedentes de las estructuras cutáneas, musculares, articulares o viscerales. El asta dorsal es un sitio estratégico para el control del dolor [56].

Fascículos ascendentes. El haz espinotalámico directo va desde el asta dorsal hasta el tálamo lateral y continúa por las áreas corticales sensitivas primarias. Sería responsable del aspecto sensorial discriminativo del dolor.

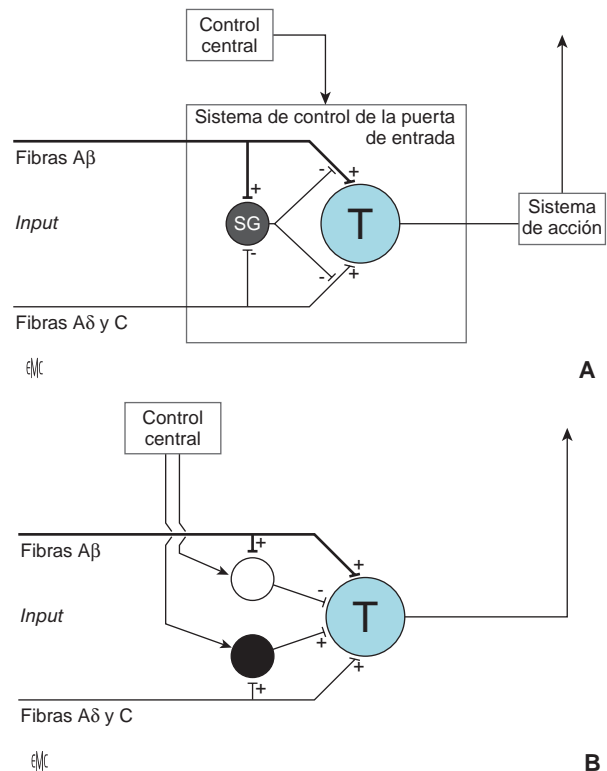


Figura 20. Teoría de la puerta de entrada del dolor (*gate control*) en el asta dorsal de la médula.

A. Descripción inicial de Melzack y Wall (1965). Las informaciones procedentes de la periferia (*input*) y que se dirigen hacia las neuronas convergentes (T = *triggers cells*) del asta dorsal profunda, son «filtradas» por las interneuronas de la sustancia gelatinosa (SG), que ejercen un efecto inhibitorio presináptico. La activación de las fibras Aβ aumenta la actividad de las interneuronas y tiende a cerrar la puerta de entrada; la activación de las fibras Aδ y C deprime el tono inhibitorio y tiende a abrir dicha puerta. Estos mecanismos están sometidos a controles de origen supraespinal.

B. Modificación de Wall (1978). Sin modificación del concepto en su conjunto. Las interneuronas SG son sustituidas por un par de neuronas: una inhibidora (círculo blanco) y otra excitadora (círculo negro), sometidas a la influencia de controles de origen central (según [57]).

El haz espinoreticulotalámico va desde el asta dorsal hasta el tálamo medio, a través de la formación reticular, y sigue por proyecciones corticales mucho más difusas. Sería responsable del aspecto emocional del dolor y de las respuestas conductuales.

Los impulsos a través de los nervios periféricos y la médula constituyen la nocicepción. El dolor es una integración cortical de la experiencia sensorial derivada de esos impulsos y de procesos emocionales. La electroestimulación ejerce un efecto analgésico por filtración de los impulsos nociceptivos.

Mecanismos inhibidores segmentarios espinales y supraespinales

En el aspecto segmentario interviene el control de la puerta de entrada o *gate control*. Es una inhibición de la transmisión de las fibras nociceptivas de pequeño calibre (Aδ y C), por la activación de las fibras sensitivas cutáneas de grueso calibre (Aβ) implicadas en el tacto y la propiocepción. La inhibición se produce en el asta dorsal de la médula (Fig. 20) [58, 59]. La neuroestimulación transcutánea actúa sobre este control cuando se usan parámetros destinados a estimular exclusivamente las fibras Aβ [60].

En el sector supraespinal, son varias las zonas del tronco cerebral y del encéfalo que generan las vías inhibitorias descendentes cuyo destino final es el asta dorsal de la médula [61]. Algunas de estas vías se activan al estimular de forma directa los cordones posteriores de la médula (neuroestimulación medular).

Otros circuitos neuronales ejercen un efecto modulador de la percepción del dolor. Es el caso de los controles inhibitorios difusos nociceptivos (CIDN) inducidos por la estimulación nociceptiva. Es una vía espinobulboespinal que incluye la formación reticular bulbar. Los CIDN cumplen una función de filtro del «ruido de fondo» procedente de las neuronas convergentes al sobrevenir un dolor más agudo. Probablemente indican que un dolor agudo tapa dolores moderados [62-64].

Además, hay conexiones con las cortezas frontal, prefrontal y cingular que hacen participar la atención y la emoción en la integración del mensaje nociceptivo.

Papel de las endorfinas

El papel de las endorfinas en la modulación del mensaje nociceptivo se manifiesta en varios niveles. En el asta dorsal de la médula hay interneuronas que secretan endorfinas, que son neurotransmisores con función inhibitoria. Los receptores endorfinicos pueden ser estimulados por algunas corrientes de efectos analgésicos, bien por estimulación metamérica o por estimulación a distancia: es probable que sean activados por algunas vías bulboespinales, descendentes y opioidérgicas, cuyos efectos se anulan tras la administración de naloxona.

Mecanismos generadores del dolor

Dolores neurogénicos

Antiguamente conocidos como dolores por desafección, los dolores neurogénicos, también llamados dolores neuropáticos, sobrevienen en caso de lesión del sistema nervioso periférico o central y son crónicos en todos los casos (>3 meses).

El mecanismo del dolor es de origen central y deben distinguirse de los dolores por exceso de nocicepción. Una lesión o sección de las aferencias periféricas puede ser responsable de alteraciones locales: actividad eléctrica anómala (descargas ectópicas espontáneas o provocadas), sensibilización de los receptores de la nocicepción (disminución del umbral e incremento de las respuestas a los estímulos), interacciones entre las fibras nerviosas por contigüidad (efapsis).

Secundariamente, las neuronas de los relevos espinales o supraespinales pueden volverse hiperexcitables por mecanismos aún no bien dilucidados. La persistencia y la autonomización de estos mecanismos centrales serían las responsables de los dolores neurogénicos crónicos y de sus características semiológicas: hiperalgesia, alodinia, hiperpatía, etc.

La índole neurogénica del dolor se identifica fácilmente en el caso de una lesión neurológica conocida. Un cuestionario de 10 puntos, llamado «DN4», ayuda a identificar las características semiológicas particulares de los dolores neurogénicos [65].

Dolores por exceso de nocicepción

A menudo agudos, obedecen a una excitación resultante de un proceso inflamatorio o postraumático de receptores nociceptivos.

El exceso de estímulos nociceptivos es la base de la mayor parte de los dolores agudos y de cierto número de dolores crónicos. El dolor se expresa en el aspecto semiológico según un ritmo mecánico (aumento del

dolor a causa de la actividad física) o inflamatorio. La exploración clínica revela este factor mecánico de desencadenamiento.

En el sector periférico, un proceso patológico activa el sistema fisiológico de transmisión de los mensajes nociceptivos. La información, procedente de los receptores, es transmitida por fibras nerviosas de pequeño calibre hacia el asta dorsal de la médula y luego hacia las estructuras centrales, medulares y supraespinales. Desde el punto de vista terapéutico, es lógico actuar sobre el propio proceso causal periférico (tratamiento etiológico) o limitar sus efectos excitadores administrando analgésicos de acción periférica o central, e incluso tratar de interrumpir los mensajes en los diversos sitios de la transmisión periférica o central (bloques anestésicos, secciones quirúrgicas).

Dolores-síntomas de causa inexplicada

Algunas entidades patológicas se reconocen sin tener una comprensión satisfactoria o criterios diagnósticos incontestables. Sin embargo, detectarlas permite reconocer su existencia, que viene a ser lo fundamental del contrato terapéutico. Pueden citarse la fibromialgia (dolores difusos invalidantes con un cortejo de trastornos funcionales), la glosodinia, etc.

Aquí se trata de asistir a un paciente, reconocido como enfermo, pero sin poder contar con un consenso diagnóstico y terapéutico bien establecido.

Dolores con disfunción del sistema nervioso simpático

Se trata del síndrome doloroso regional complejo (SDRC), antiguamente llamado algodistrofia, que asocia rigidez articular, alteraciones vasomotoras cutáneas, desmineralización ósea e hiperalgesia en un segmento somático extendido en torno al sitio inicial de la lesión tisular. Puede producirse por un traumatismo, una lesión nerviosa o una contusión, inicialmente poco significativa [57].

Dolores por mecanismos generadores asociados

Muchos cuadros clínicos tienen dolores cuyo mecanismo no es unívoco.

Dolores psicogénicos

No tienen una explicación somática satisfactoria y guardan relación con una perturbación psicopatológica acompañante. El diagnóstico del dolor de causa psíquica se apoya en parámetros semiológicos psicopatológicos. En todos los casos, se trata claramente de un dolor que se expresa en términos de una lesión tisular [66].

Conocer los distintos tipos de dolor [67, 68], su mecanismo generador y su localización permite seleccionar el tratamiento por electroestimulación más adecuado (Cuadro II).

Topografía del dolor

La sistematización del sistema nervioso y la función de las neuronas, que convergen en el asta dorsal de la médula, hacen que la sensación dolorosa se produzca:

- a distancia del sitio de la lesión que le dio origen, por ejemplo en la rodilla en el caso de una lesión de la cadera;
- o, en especial, en la zona de proyección del revestimiento cutáneo de las fibras nerviosas del sitio de origen, por ejemplo los dolores lumbares bajos de un síndrome de la unión dorsolumbar (artrosis interapofisaria posterior).

Dolor directo

El dolor directo se siente inicialmente en el sitio de la lesión.

Cuadro II.

Dolores: mecanismos generadores, localización y electroestimulación.

Mecanismos generadores	Dolores	Localización	Electroestimulación
Dolores neurogénicos	Lumbociática operada Heridas de los nervios Dolores después de herpes zóster Neuropatías diabéticas Cicatrices de larga data Fibroaracnoiditis lumbares Miembro fantasma Paraplejías Algunas secuelas quirúrgicas Plexitis postirradiación Lesiones nerviosas vinculadas al cáncer	Dolores localizados	Corrientes BF BI Analgésicas por <i>gate control</i>
Dolores por exceso de nocicepción	Artritis Tendinitis agudas, tendinopatías Esguinces, estiramientos Neuralgias: ciatalgias (a distinguir de las ciáticas operadas), cruralgias, meralgias parestésicas, neuralgias cervicobraquiales Compresiones de origen tumoral Dolores generados por las posturas y las movilizaciones Raquialgias: lumbalgias, dorsalgias, cervicalgias Artrosis de la columna vertebral o de los miembros Dolores musculoponeuróticos asociados a las artrosis, o postraumáticos Dolores parietales postoperatorios moderados [67] Secuelas funcionales dolorosas de las sínfisis pleurales Dolores de localización múltiple	Dolores difusos	Corrientes MBF IE Analgésicas por liberación de endorfinas
Dolores-síntomas de causa inexplicada	Fibromialgia, antes conocida como síndrome poliálgico idiopático difuso (SPID)		
Dolores con disfunción del sistema nervioso simpático	Síndrome doloroso regional complejo (SDRC), antes conocido como algodistrofia [68]		
Dolores por mecanismos generadores asociados	Dolores neurogénicos relativos a una herida nerviosa y dolores por exceso de nocicepción debidos a lesiones articulares o musculares acompañantes Dolores parietales posquirúrgicos neurogénicos (cicatriz) y nociceptivos (musculoesquelético)	Dolores mixtos: localizados y difusos	Corrientes combinadas BF BI + MBF IE Analgésicas por <i>gate control</i> y por liberación de endorfinas
Dolores psicogénicos	Depresión, trastorno de ansiedad Trastorno somatoforme doloroso Conversión histérica, hipocondría, etc.		Electroestimulación no indicada

Dolor referido

Debe distinguirse el dolor trasladado del dolor referido (Fig. 21).

El **dolor trasladado** se produce por impulsos nociceptivos que se originan en una lesión situada sobre las vías periféricas o centrales que transmiten los mensajes dolorosos. El dolor se siente como si proviniera del campo periférico correspondiente, cutáneo o subcutáneo. Por ejemplo, la ciatralgia producida por una compresión radicular.

El **dolor referido** propiamente dicho corresponde a una disociación topográfica entre la zona periférica, donde se localiza falsamente la sensación dolorosa, y la verdadera localización del sufrimiento tisular [60].

Por lo general, la proyección se explica por una concordancia metamérica y un desnivel anatómico entre el dermatoma, el miotoma y el viscerotoma del mismo segmento medular. El dolor del antebrazo de una lesión del miocardio y el dolor escapular de una lesión vesicular son ejemplos de dolores referidos.

Puntos gatillo. La búsqueda de puntos gatillo forma parte de la técnica de palpación de los dolores musculoponeuróticos. Es el punto más sensible del músculo, cuya estimulación con cierto grado de presión digital

despierta el dolor espontáneo, y a veces reproduce el dolor referido en los territorios periféricos adyacentes [69].

La aplicación terapéutica es fundamental: tratando estos puntos gatillo (masajes profundos, crioterapia, anestésicos locales, electroestimulación, vibraciones mecánicas) se alivia el dolor principal a distancia, es decir, referido.

Los puntos gatillo glúteos producen pseudociatralgias y los puntos gatillo en el trapecio producen pseudoneuralgias cervicobraquiales. Algunas cefaleas por tensión se acompañan de puntos gatillo en la inserción de los músculos pericraneales. El dolor de las coxartrosis se acompaña por un componente musculoponeurótico con puntos gatillo musculares.

Componentes del dolor

Tanto en el dolor agudo como en el crónico deben considerarse cuatro componentes, que forman un complejo multifactorial. Todos deben conocerse y tenerse en cuenta con el fin de evitar el paso a la cronicidad.

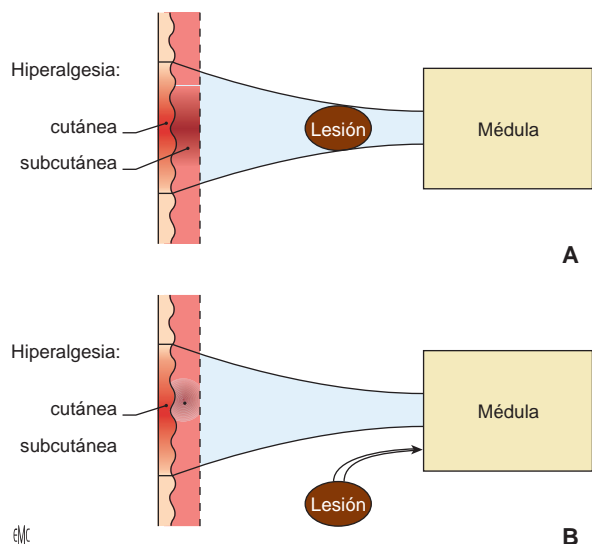


Figura 21. Dolor referido.

A. Dolor trasladado. El dolor se siente como si proviniera del campo cutáneo periférico (línea continua) o subcutáneo (línea de puntos), mientras que el foco de la lesión se halla en el trayecto de las vías nociceptivas.

B. Dolor referido propiamente dicho. La sensación dolorosa se localiza falsamente en una zona periférica cuya inervación es muy distinta a la del foco de la lesión (músculo, articulación o víscera), pero que converge en el mismo nivel de la médula (según [60]).

Componente sensorial-discriminativo

Es, desde luego, el componente sometido a la valoración más completa en el aspecto clínico y el de las pruebas complementarias. La investigación se dirige no sólo a la lesión responsable, sino también a la calidad, la intensidad, el ritmo y los factores de mejoría o de agravación del dolor, que contribuyen a guiar el tratamiento sintomático.

Componente afectivo y emocional

La frecuencia de la depresión se calcula en el 30-50% de las afecciones dolorosas persistentes (no cancerosas), según estimaciones de los centros de tratamiento del dolor. La depresión puede explicar la resistencia a los demás tratamientos e influir en el comportamiento ante el dolor.

La asociación de trastornos de la personalidad puede contribuir a que el dolor se vuelva permanente, lo cual debe tenerse en cuenta cuando se define el programa terapéutico. La opinión del psiquiatra resulta indispensable, tanto en el aspecto diagnóstico como terapéutico.

Componente cognitivo

Se refiere al modo en que un paciente representa la causa de su dolor y condiciona en parte su actitud frente a éste. Incluye los problemas dolorosos previos que el paciente tuvo que enfrentar o la observación de los familiares al respecto: la duración, la respuesta al tratamiento y el temor que generó en términos de gravedad de la enfermedad.

A menudo se descubre:

- el desconcierto generado por opiniones sucesivas discordantes;
- la convicción de que cualquier dolor persistente es indicio de un proceso patológico evolutivo que puede empeorar; por ejemplo, el paciente que sufre de lumbalgia crónica teme la evolución hacia la parálisis de los miembros inferiores y el confinamiento a una silla de ruedas;
- las reservas mentales y las interpretaciones erróneas, que deben explicarse y aclararse debidamente porque a menudo alimentan la angustia del paciente.

Aclarar bien la situación ayuda al paciente a adoptar una conducta más favorable ante el dolor. Mejorar la capacidad de afrontamiento, o *coping* , es un objetivo fundamental de la asistencia cognitivo-conductual al paciente que sufre de dolor crónico [70].

Componente conductual

Resulta útil identificar las manifestaciones motrices o verbales relativas al dolor en la consulta, la exploración física y las situaciones estáticas o dinámicas: mímica, suspiros, posiciones antálgicas, limitación de movimientos o actitud inmóvil. Frente a algunos cuadros de dolor crónico todo esto puede considerarse como un elemento «parásito» y no estrictamente vinculado a la afección, pero sí agravante de la deficiencia. La kinesiofobia y muchas otras prevenciones deben considerarse desde este punto de vista. En este sentido, se recomiendan terapias conductuales. La adaptación al esfuerzo requiere la aplicación de técnicas kinesiterápicas específicas [71].

Electroestimulación analgésica y reeducación

En el Cuadro II se resumen los dolores que pueden tratarse mediante la electroestimulación.

Las corrientes analgésicas facilitan la reeducación funcional y optimizan sus resultados. Ayudan a limitar la ansiedad de participación que producen algunas sesiones de kinesiterapia. Se deben aplicar en posición corregida para evitar que el paciente encuentre el alivio en una actitud defectuosa.

El dolor debe ser evaluado por el paciente para poder medir la eficacia de la estimulación. Con este objetivo, puede usarse la escala numérica o la escala visual analógica.

La evaluación del dolor debe hacerse inmediatamente antes y después de la electroestimulación analgésica, de modo que sólo se tenga en cuenta el resultado de ésta; esto permite dejar de lado los efectos de otras técnicas de reeducación y de otros factores de sedación del dolor (curación espontánea, consejos de higiene de vida, medicamentos, etc.).

Las condiciones de exploración del dolor (posición del paciente, amplitud articular, etc.) deben ser idénticas antes y después del tratamiento. De no ser así, los resultados de la valoración no serían comparables.

La duración de los efectos analgésicos depende de numerosos factores y, entre ellos, las técnicas aplicadas: reeducación funcional y propioceptiva, educación postural, profilaxis, ergonomía, etc.

Los centros especializados en el tratamiento del dolor, y algunos centros de reeducación, están en condiciones de practicar la neuroestimulación en modalidad ambulatoria, durante 2-10 horas por día, permitiendo reanudar las actividades más pronto y con un mínimo de dolor [72, 73].

Es necesario que los pacientes pongan a prueba el alivio obtenido con la electroestimulación y emprendan actividades que no hubieran podido llevar a cabo debido al dolor.

El paciente debe desarrollar un método activo de autocontrol de su dolor (relajación, respiración profunda, corrección de posiciones defectuosas, etc.), sin confinarse en una actitud pasiva y basada sólo en la electroestimulación.

La neuroestimulación eléctrica transcutánea (TENS, *transcutaneous electrical nerve stimulation*), consiste en aplicar sobre la piel una corriente destinada a estimular las fibras nerviosas sensitivas con una finalidad analgésica. La TENS designa a todas las técnicas que se describen en los párrafos siguientes.

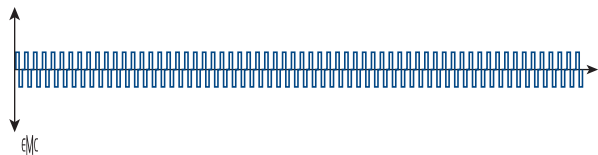


Figura 22. Corrientes BF BI. Corrientes de baja frecuencia y baja intensidad: control de la puerta de entrada (*gate control*).

Programas de electroestimulación analgésica

Corrientes BF BI analgésicas por control de puerta de entrada del dolor

Gate control: inhibición sensitiva segmentaria. Es una estimulación que activa el control de entrada del dolor por inhibición sensitiva segmentaria, es decir, circunscrita a un sector medular en particular [72].

Parámetros y protocolo. Los parámetros de los impulsos de la corriente de baja frecuencia y baja intensidad (Fig. 22) y el protocolo de estimulación, se ajustan al efecto que se persigue [74-77].

Una muy breve duración del impulso ($\leq 100 \mu\text{seg}$) y baja intensidad sólo provocan parestesias (u hormigueos) debido a que estimulan las fibras A β , pero no las A δ y C.

Baja frecuencia se refiere a 50-100 Hz, ya que las frecuencias superiores a 150 Hz pierden el efecto de estimulación [20].

Los impulsos rectangulares, bidireccionales de variación nula, permiten llevar a cabo una sesión eficaz, confortable y segura durante 20-30 minutos en caso de aplicarla en el transcurso de una sesión de reeducación, o 2-10 horas diarias en el tratamiento ambulatorio con un estimulador portátil, sin riesgo de quemadura química. Debido a la duración de la sesión y a la baja intensidad de estimulación, es necesario acomodar los parámetros de los impulsos para retrasar la habituación, pues ésta disminuye los efectos analgésicos.

Los electrodos sobre el sitio del dolor ayudan a encauzar la estimulación hacia el segmento medular correcto.

Criterios de eficacia: sesión-prueba. La corriente debe sentirse con nitidez.

Algunas zonas desnervadas no permiten sentir la corriente y representan una contraindicación, a menos que la corriente sea aplicada en un metámero adyacente.

Algunas zonas hiperálgicas o alodínicas, que exacerbaban el dolor durante el paso de la corriente, están contraindicadas.

Las parestesias u hormigueos, producidos por la estimulación, deben cubrir la zona dolorosa espontánea.

Durante el paso de la corriente, el dolor debe quedar oculto y ser menos intenso, o incluso no sentirse [78].

Indicaciones: dolores localizados.

Dolores neurogénicos localizados (Fig. 23).

Dolores por exceso de nocicepción localizados (Figs. 24-26).

Corrientes MBF IE analgésicas por liberación de endorfinas

Modificaciones plasmáticas de las β -endorfinas: inhibición sensitiva suprasedgmentaria. A 27 personas de una edad comprendida entre 18-28 años se les efectuó una determinación de β -endorfinas, antes y después de una electroestimulación con una frecuencia de 4 Hz, una intensidad elevada capaz de producir contracciones musculares similares a sacudidas elementales, y con grandes electrodos lumbares ($150 \text{ cm}^2 \times 2$) durante 30 minutos.



Figura 23. Dolores por herida del nervio mediano. Electrodos de pequeña superficie sobre los puntos dolorosos, en la cara anterior del antebrazo. Corriente BF BI analgésica por *gate control*: ocultación del dolor neurogénico.

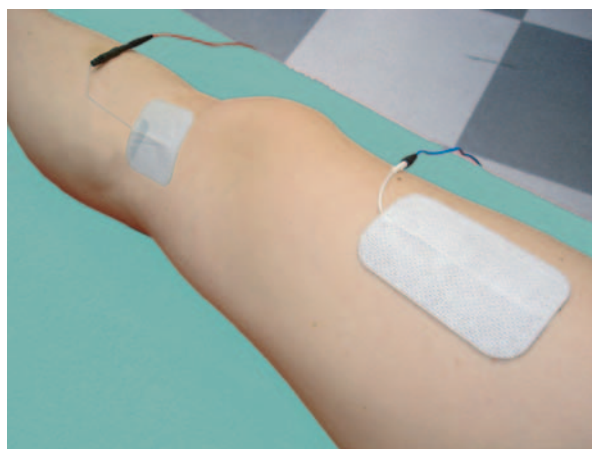


Figura 24. Tendinitis de la pata de ganso. Electrodo activo de pequeña superficie sobre el punto doloroso, electrodo indiferente de gran superficie. Corriente BF BI.

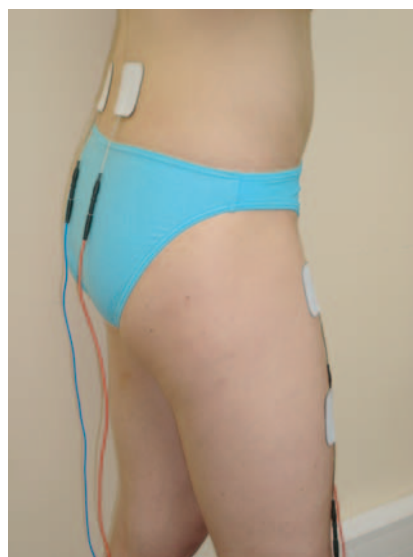


Figura 25. Neuralgia: cruralgia. Electrodo de pequeña superficie sobre la zona dolorosa y al nivel correspondiente de la columna vertebral. Corriente BF BI.

Al cabo de los 30 minutos de estimulación, los autores comprobaron un aumento del 22% de los valores de β -endorfinas en relación al valor basal. Los valores

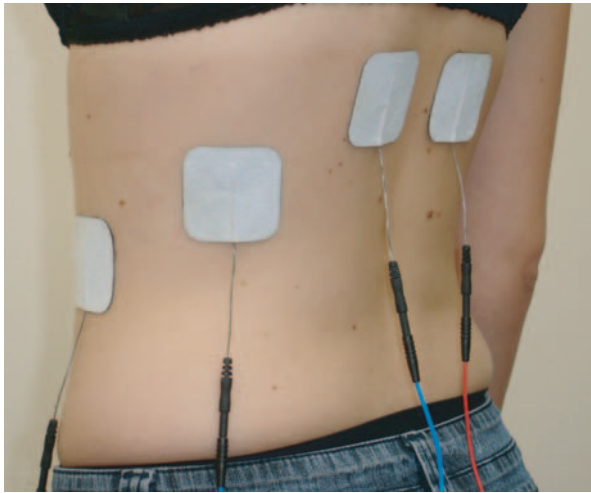


Figura 26. Neuralgia intercostal. Electrodo de pequeña superficie sobre la zona dolorosa y al nivel correspondiente de la columna vertebral. Corriente BF BI.

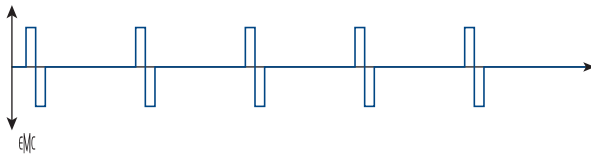


Figura 27. Corrientes MBF IE. Corrientes de muy baja frecuencia y de intensidad elevada: liberación de endorfinas.

todavía se mantenían por encima del 20% media hora después de cesar la estimulación.

Este estudio se repitió en otras condiciones:

- con una frecuencia de 50-100 Hz;
- con una frecuencia de 4 Hz, pero con electrodos de superficie reducida (6 electrodos, Ø 2 cm).

En ninguno de los dos casos se observó una modificación de los valores de las β -endorfinas [79].

Este estudio demuestra el efecto analgésico de las frecuencias muy bajas (4 Hz) y los electrodos de gran superficie, efecto ampliamente confirmado en la práctica corriente.

Este tipo de estimulación destinada a liberar endorfinas produce una inhibición sensitiva suprasedimentaria, es decir, en los centros nerviosos superiores.

Parámetros y protocolo. Los parámetros de los impulsos de las corrientes de muy baja frecuencia (<10 Hz) y de intensidad elevada (Fig. 27), así como el protocolo de estimulación, deben ajustarse al efecto buscado [74-77].

Un aumento de la duración del impulso (0,2-2 mseg) y una intensidad más elevada producen sacudidas elementales que estimulan las fibras A δ y C.

Una frecuencia de 2-8 Hz (la de 4 Hz sería más adecuada) aumenta los valores de β -endorfinas, mientras que las frecuencias de 50-100 Hz se revelan ineficaces.

Los impulsos rectangulares, bidireccionales de variación nula, permiten una sesión eficaz y confortable de 30 minutos de duración como mínimo, o incluso de 40 minutos, sin riesgo de quemadura química de los tejidos.

Electrodos de superficie amplia (~150 cm² x2), cubiertos sucesivamente por una almohadilla esponjosa humedecida y una malla sin tejer desechable, se aplican sobre la columna vertebral y/o la zona dolorosa.

Criterios de eficacia: sesión-prueba. La corriente debe sentirse en todo el electrodo de gran superficie con

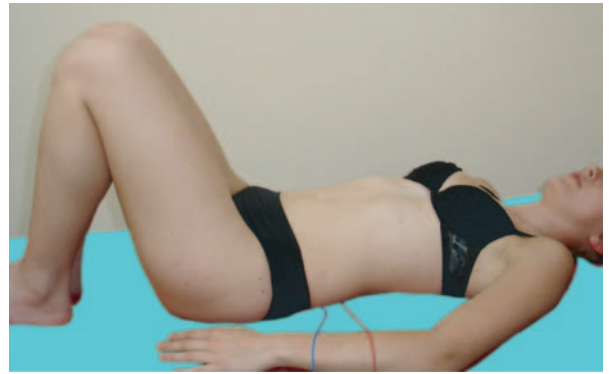


Figura 28. Lumbalgia, raquialgias. Electrodo con una longitud mínima de 20 cm y una superficie mínima de 100 cm², dispuestos a cada lado de la columna lumbar, a lo largo de los músculos espinales. Paciente colocado sobre los electrodos para que su propio peso favorezca el contacto en toda la superficie de las almohadillas esponjosas. Los miembros inferiores están flexionados para evitar la lordosis lumbar. Corriente MBF IE: analgésica por liberación de endorfinas.

intensidad pero sin dolor, para lo cual debe usarse un generador con una potencia suficiente.

Las zonas desnervadas son una contraindicación pues no permiten sentir la corriente. Si la zona de estimulación es hiperálgica, hay que desplazar los electrodos ligeramente hacia una zona en la que la estimulación se tolere mejor.

Las sacudidas musculares producidas por la estimulación deben ser aparente y claramente perceptibles.

Al final de la sesión, el paciente debe tener una sensación de relajación y sosiego.

El dolor debe evaluarse inmediatamente antes y después de la sesión. El efecto analgésico debe ser inmediato o, llegado el caso, producirse poco después de finalizar la sesión.

Indicaciones: dolores difusos. Dolores por exceso de nocicepción de tipo difuso: raquialgias (Fig. 28), secuelas pleurales (2 Hz: efecto analgésico + flexibilidad), dolores de localización múltiple, etc.

Fibromialgia.

“ Punto esencial

La electroestimulación analgésica por liberación de endorfinas tiene una eficacia notable si se respetan los parámetros de los impulsos, las modalidades de aplicación y, en especial, la superficie de cada electrodo, que debe ser mayor de 100 cm².

Aplicación específica. Las corrientes de muy baja frecuencia, generadas por aparatos portátiles de baja potencia, también pueden usarse con impulsos de muy breve duración y pequeños electrodos. Esta forma de estimulación causa sacudidas elementales y produce buenos resultados analgésicos, sobre todo respecto a las contracturas y los puntos gatillo. Sin embargo, dada la duración de los impulsos y la muy reducida superficie de los electrodos, cabe preguntarse acerca de los mecanismos de esta analgesia y sorprenderse ante la liberación de sustancias morfomiméticas.

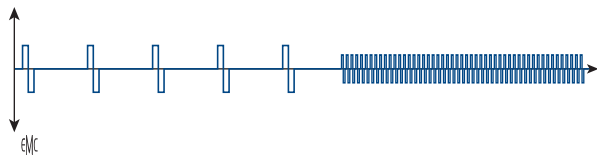


Figura 29. Corrientes compuestas. Secuencias recurrentes de MBF IE y de BF BI.

Corrientes compuestas BF BI y MBF IE: electroestimulación analgésica combinada

Control de entrada del dolor (gate control) y liberación de endorfinas. Para asociar los efectos de los dos tipos de estimulación, control de entrada del dolor y liberación de endorfinas, es posible combinar corrientes de baja frecuencia y de muy baja frecuencia de distintas maneras:

- secuencias recurrentes de MBF IE y de BF BI (Fig. 29);
- «wobulación» de MBF IE en BF BI, en la que la intensidad y la duración del impulso varían en relación inversa a la frecuencia;
- estimulación concomitante de MBF IE y de BF BI con dos generadores distintos;
- estimulación polivalente con corrientes compuestas de doble frecuencia^[80].

Parámetros y protocolo. Los parámetros de los impulsos de las corrientes compuestas por diferentes frecuencias y duraciones de impulsos (Fig. 29), así como el protocolo de estimulación, deben ajustarse a los efectos buscados.

Parámetros de los impulsos (frecuencia, duración e intensidad) idénticos a los de cada una de las dos corrientes ya descritas durante su secuencia, por ejemplo: 4 Hz, 1 mseg, intensidad elevada y 60 Hz, 100 µseg, intensidad baja.

Los impulsos rectangulares, bidireccionales de variación nula permiten llevar a cabo una sesión eficaz y confortable de 30 minutos de duración como mínimo, sin riesgo de quemadura química de los tejidos.

Los electrodos de gran superficie (100-150 cm²) se cubren por una almohadilla esponjosa y se aplican sobre la columna vertebral y la zona dolorosa, excepto en la estimulación de los puntos gatillo que se hace con electrodos puntuales.

Criterios de eficacia: sesión-prueba. Los criterios de eficacia son los de las dos modalidades de estimulación analgésica por control de entrada del dolor y por liberación de endorfinas.

Indicaciones: dolores mixtos. Raquialgias acompañadas de neuralgias (lumbociatalgias, neuralgias cervicobraquiales), dolores localizados asociados a dolores de las zonas adyacentes.

Síndrome doloroso regional complejo (SDRC)^[68].

Dolores causados por mecanismos generadores asociados: neurogénico y nociceptivo.

■ Conclusión

La electroestimulación analgésica y excitomotriz forma parte de las técnicas de reeducación funcional.

En sus distintas fases de aplicación, prepara, facilita y completa cada sesión, contribuyendo ampliamente en los resultados obtenidos.

La sedación del dolor es el primer requerimiento del paciente y debe ser el primer objetivo del terapeuta. La electroestimulación analgésica responde a esta demanda y participa ampliamente, lo que permite hacer la reeducación en las condiciones más confortables.

El fortalecimiento muscular, la relajación de las contracturas, la flexibilización de la fibrosis y la disminución de los trastornos tróficos mejoran con la

electroestimulación excitomotriz, técnica complementaria que acompaña y asiste al movimiento en reeducación funcional.



■ Bibliografía

- [1] Solassol A, Allas T, Benard V, Moulin M, Bouvard G, Debruyne D. Le passage dans la circulation générale de substances administrées par ionophorèse chez l'homme. *Ann Readapt Med Phys* 1986;**28**:395-407.
- [2] Gobelet C, Follonier A, Meylan F, Maeder E. Ionophorèse aux corticoïdes. *Cinésiologie* 1982;**21**:279-84.
- [3] Ludy JP, Berger D, Chantraine A. Ionisation à la cortisone : mythe ou réalité? *Rhumatologie* 1986;**38**:45-8.
- [4] Calmels P, Minaire P. L'ionisation des substances anti-inflammatoires : les facteurs de pénétration tissulaire. *Ann Readapt Med Phys* 1986;**28**:425-33.
- [5] Nirschl RP, Rodin DM, Ochiai DH, Maartmann-Moe C. DEX-AHE-01-99 Study Group. Ionophoretic administration of dexamethasone sodium phosphate for acute epicondylitis. A randomized, double-blinded, placebo-controlled study. *Am J Sports Med* 2003;**31**:189-95.
- [6] Leduc BE, Caya J, Tremblay S, Bureau NJ, Dumont M. Treatment of calcifying tendinitis of the shoulder by acetic acid iontophoresis: a double-blind randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;**84**:1523-7.
- [7] Perron M, Malouin F. Acid acetic iontophoresis and ultrasound for the treatment of calcifying tendinitis of the shoulder: a randomized control trial. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;**78**:379-84.
- [8] AFREK. *Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus, Paris, 13 et 14 novembre 1998.* Paris: SPEK; 2000.
- [9] ANAES. *Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations et références professionnelles.* Paris: ANAES; Janvier 2000.
- [10] Haulot A, Chieza G, Ménager D. Traitement de l'hyperhidrose du moignon par iontophorèse. À propos de 31 cas. In: Simon L, Pélissier J, Hérisson C, editors. *Actualités de rééducation fonctionnelle et réadaptation.* Paris: Masson; 1992. p. 100-4.
- [11] Gillick BT, Kloth LC, Starsky A, Cincinelli-Walker L. Management of postsurgical hyperhidrosis with direct current and tap water. *Phys Ther* 2004;**84**:262-7.
- [12] Sato K, Timm DE, Sato F, Templeton EA, Meletiou DS, Toyomoto T, et al. Generation and transit pathway of H⁺ is critical for inhibition of palmar sweating by iontophoresis in water. *J Appl Physiol* 1993;**75**:2258-64.
- [13] Aydemir EH, Kalkan MT, Karakoc Y. Quantitative effect of anodal current in the treatment of primary hyperhidrosis by direct electrical current. *Int J Dermatol* 2006;**45**:862-4.
- [14] Godaux E, Cheron G. *Le mouvement.* Paris: Medsi/McGraw-Hill; 1989.
- [15] Jones D, Round J, de Haan A. *Physiologie du muscle squelettique.* Paris: Elsevier; 2005.
- [16] Licht S. *Electrodiagnosis and electromyography.* New Haven: Licht Publisher; 1956.
- [17] Vanderthommen M. Contribution à l'étude fondamentale et clinique de l'électrostimulation neuromusculaire. [thèse de doctorat en kinésithérapie], Université de Liège, 1993.
- [18] Bouman HD, Shaffer KJ. Physiological basis of electrical stimulation of human muscle and its clinical application. *Phys Ther Rev* 1956;**37**:207-23.
- [19] Vanderthommen M, Kelleter B, Crielaard JM. Les courants excito-moteurs de basses fréquences. Détermination des durées d'impulsions optimales de stimulation. *Ann Kinésithér* 1991;**18**:483-4.
- [20] Bruxelles J. La stimulation électrique périphérique à visée antalgique. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie, 26-145-C-10, 1988 : 4p.*
- [21] Crépon F. *Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle.* Paris: Frison-Roche; 2002.
- [22] Kayser C. *Physiologie. Système nerveux. Muscle.* Paris: Flammarion; 1976.

- [23] Hannerz J. Discharge properties of motor units in relation to recruitment order in voluntary contraction. *Acta Physiol Scand* 1974;**91**:374-84.
- [24] Vanderthommen M, Kelleter B, Crielaard JM. Détermination de la fréquence de stimulation produisant la contraction tétanique maximale du quadriceps fémoral. In: Pelissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 33-7.
- [25] Vanderthommen M, Depresseux JC, Dauchat L, Degueudre C, Croisier JL, Crielaard JM. Spatial distribution of blood flow in electrically stimulated human muscle: a positron emission tomography study. *Muscle Nerve* 2000;**23**:482-9.
- [26] Vanderthommen M, Depresseux JC, Dauchat L, Degueudre C, Croisier JL, Crielaard JM. Blood flow variation in the human muscle during electrically stimulated exercise bouts. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;**83**:936-41.
- [27] Vanderthommen M, Gilles R, Carlier P, Ciancabilla F, Zahlan O, Sluse F, et al. Human muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by ³¹P NMR spectroscopy. *Int J Sports Med* 1999;**20**:279-83.
- [28] Vanderthommen M, Duteil S, Raynaud JS, Wary C, Leroy-Willig A, Crielaard JM, et al. A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved ¹H and ³¹P NMRS. *J Appl Physiol* 2003;**94**:1012-24.
- [29] Reisman MA. A comparison of electric stimulators in eliciting muscle contractions. *Phys Ther* 1984;**64**:751.
- [30] Vanderthommen M, Cohnen A, Crielaard JM. Intérêt de l'électromyostimulation de basse fréquence dans le cadre d'un alitement prolongé. In: Pelissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 62-6.
- [31] Eriksson E, Haggmark T. Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. *Am J Sports Med* 1979;**7**:169-71.
- [32] Vanderthommen M, Constant T, Crielaard JM. La rééducation du quadriceps: intérêt de l'électromyostimulation de basse fréquence après arthroscopie du genou. *Kinésithér Scient* 1992;**21**-2 (n° 308).
- [33] Vanderthommen M, Soltani K, Maquet D, Crielaard JM, Croisier JL. Does neuromuscular electrical stimulation influence muscle recovery after maximal isokinetic exercise? *Isokinetics Exerc Sci* 2007;**15**:143-9.
- [34] Perennou DA, Leblond C, Amblard B, Micallef JP, Herisson C, Pelissier JY. Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;**82**:440-8.
- [35] Petros P, Ulmsten U. An integral theory and its method for the diagnosis and management of female urinary incontinence. *Scand J Urol Nephrol* 1993;**153**:1-93.
- [36] Hebert N, Barre C, Lobel B, Louvigne Y, Brissot R, Follin F, et al. Rééducation périnéale dans l'incontinence urinaire chez la femme. *Ann Readapt Med Phys* 1986;**29**:245-52.
- [37] Malissard M, Souquet J, Mellier G, Gallaup JP. Chronaxie et énergie maximale de stimulation : influence des propriétés électriques du tissu vaginal. In: *Pelissier J edior. Rééducation vésico-sphinctérienne et ano-rectale*. Paris: Masson; 1992. p. 108-16.
- [38] Hasan ST, Robson WA. Outcome of transcutaneous electrical stimulation in patients with detrusor instability. *NeuroUrol Urodyn* 1994;**13**:349-50.
- [39] Crepon F. Electrostimulation in the rehabilitative treatment of urinary incontinence. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1992(3):50-3.
- [40] Amarenco G, Ismael SS, Even-Schneider A, Raibaut P, Demaille-Wlodyka S, Parratte B, et al. Urodynamic effect of acute transcutaneous posterior tibial nerve stimulation in overactive bladder. *J Urol* 2003;**169**:2210-5.
- [41] Ashley Z, Sutherland H, Lanmuller H, Unger E, Li F, Mayr W, et al. Determination of the chronaxie and rheobase of denervated limb muscles in conscious rabbits. *Artif Organs* 2005;**29**:212-5.
- [42] Diverrez JP. *Électrologie. Exploration en rééducation fonctionnelle*. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie - Rééducation Fonctionnelle, 26-015-A-10, 1995 : 11p.
- [43] Salmons S, Ashley Z, Sutherland H, Russold MF, Li F, Jarvis JC. Functional electrical stimulation of denervated muscles: basic issues. *Artif Organs* 2005;**29**:199-202.
- [44] Kleinknecht B, Breton G, Carzon J, Courtillon A, Daniel F, Darnault A, et al. Méthodologie électrologique. In: Heuleu JN, Simon L, editors. *Muscle et rééducation*. Paris: Masson; 1998. p. 151-9.
- [45] Mercier J. Bases électriques et biochimiques du fonctionnement du nerf et du muscle. In: Pelissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 1-6.
- [46] Pouget J. Électrostimulation neuromusculaire : bases expérimentales. In: Pelissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 20-4.
- [47] Crépon F. Électrodiagnostic de stimulation des dénervations. *Kinésithér Scient* 2003;**57**-9 (n° 434).
- [48] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 1. Procédure de traitement simplifiée. *Kinésithér Scient* 2004;**55**-6 (n° 440).
- [49] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 2. Polarité des impulsions et techniques complémentaires. *Kinésithér Scient* 2004;**53**-4 (n° 444).
- [50] Kern H, Rossini K, Carraro U, Mayr W, Vogelauer M, Hoellwarth U, et al. Muscle biopsies show that FES of denervated muscles reverses human muscle degeneration from permanent spinal motoneuron lesion. *J Rehabil Res Dev* 2005;**42**(3suppl1):43-53.
- [51] Helgason T, Gargiulo P, Johannesdottir F, Ingvarsson P, Knutsdottir S, Gudmundsdottir V, et al. Monitoring muscle growth and tissue changes induced by electrical stimulation of denervated degenerated muscles with CT and stereolithographic 3D modeling. *Artif Organs* 2005;**29**:440-3.
- [52] Hofer C, Forstner C, Modlin M, Jager H, Mayr W, Kern H. In vivo assessment of conduction velocity and refractory period of denervated muscle fibers. *Artif Organs* 2005;**29**:436-9.
- [53] Johnston TE, Smith BT, Betz RR. Strengthening of partially denervated knee extensors using percutaneous electric stimulation in a young man with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;**86**:1037-42.
- [54] Martinek J, Reichel M, Rattay F, Mayr W. Analysis of calculated electrical activation of denervated muscle fibers in the human thigh. *Artif Organs* 2005;**29**:444-7.
- [55] Besson JM, Guilbaud G, Ollat H. *Peripheral neurons and nociception: physiopharmacological aspects*. Paris: John Libbey Eurotext; 1994.
- [56] Le Bars D. The whole body receptive field of dorsal horn multireceptive neurones. *Brain Res Brain Res Rev* 2002;**40**:29-44.
- [57] Brasseur L, Chauvin M, Guilbaud G. *Douleurs*. Paris: Maloine; 1997.
- [58] Melzack R, Wall PD. Pain mechanism: a new theory. *Science* 1965;**150**:971-9.
- [59] Wall PD. The gate control theory of pain mechanisms: a re-examination and a restatement. *Brain* 1978;**101**:1-8.
- [60] Boureau F, Willer JC. *La douleur. Exploration, traitement par neurostimulation et électro-acupuncture*. Paris: Masson; 1982.
- [61] Dickenson AH, Chapman V. Neurotransmetteurs et neuromodulateurs de la douleur au niveau spinal. In: Brasseur L, Chauvin M, Guilbaud G, editors. *Douleurs*. Paris: Maloine; 1997. p. 38-47.
- [62] Le Bars D, Dickenson AH, Besson JM. Diffuse noxious inhibitory controls (DNIC). I. Effects on dorsal horn convergent neurones in the rat. *Pain* 1979;**6**:283-304.
- [63] Le Bars D, Dickenson AH, Besson JM. Diffuse noxious inhibitory controls (DNIC). II. Lack of effect on non-convergent neurones, supraspinal involvement and theoretical implications. *Pain* 1979;**6**:305-27.

- [64] Le Bars D, Chitour D, Kraus E, Dickenson AH, Besson JM. Effects of naloxone upon diffuse noxious inhibitory controls (DNIC) in the rat. *Brain Res* 1981;**204**:387-402.
- [65] Bouhassira D, Attal N, Alchaar H, Boureau F, Brochet B, Bruxelle J, et al. Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4). *Pain* 2005; **114**:29-36.
- [66] Queneau P, Ostermann G. *Le médecin, le malade et la douleur*. Paris: Masson; 2004.
- [67] Benedetti F, Amanzio M, Casadio C, Cavallo A, Cianci R, Giobbe R, et al. Control of postoperative pain by transcutaneous electrical nerve stimulation after thoracic operations. *Ann Thorac Surg* 1997;**63**:773-6.
- [68] Crépon F. Électrophysiothérapie des algodystrophies post-traumatiques. In: *L'algodystrophie post-traumatique des membres*. Paris: SPEK; 2002. p. 85-93.
- [69] Travell JG, Simons DG. Douleurs et troubles fonctionnels myofasciaux. In: *Traité des points-détente musculaires (2 tomes)*. Bruxelles: Haug international; 1993.
- [70] Boureau F, Doubrère JF. Le concept de douleur. Du symptôme au syndrome. *Doul Analg* 1988;**1**:11-7.
- [71] Guy-Coichard C, Rostaing-Rigattieri S, Doubrère JF, Boureau F. Conduite à tenir vis-à-vis d'une douleur chronique. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Anesthésie-Réanimation, 36-030-A-10, 2005.
- [72] Boureau F, Luu M, Doubrère J-F. Analgésie par neurostimulation transcutanée. Mise au point, perspectives. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 52-7.
- [73] Verdier JC. Stimulation électrique transcutanée dans les lombalgies, radiculalgies, plexalgies. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 164-7.
- [74] Berthelin F. Douleur et électrostimulation. *Kinésithér Scient* 1992;**7**-10 (n° 310).
- [75] Berthelin F. L'électrostimulation à visée antalgique. *Kinésithér Scient* 1992;**11**-4 (n° 310).
- [76] Berthelin F. La stimulation électrique transcutanée. Technique d'analgésie articulaire. *Kinésithér Scient* 1992;**15**-20 (n° 310).
- [77] Crépon F. Électrophysiothérapie et douleur. *Cah Kinésithér* 1996;**182**:51-4.
- [78] Dean J, Bowsher D, Johnson MI. The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on bilateral somatosensory thresholds. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006;**26**:314-8.
- [79] Crielaard JM, Reuter AM, Vrindts N, Franchimont P. Acquisitions nouvelles en électrothérapie : le système endorphinique. *Cah Kinésithér* 1985;**112**:47-53.
- [80] Crépon F. Intérêt de l'électrostimulation polyvalente en rééducation fonctionnelle. *Kinésithér Scient* 2003;**59**-60 (n° 437).

F. Crépon (f.crepon@hopital-saint-maurice.fr).

École nationale de kinésithérapie et de rééducation, 12, rue du Val-d'Osne, 94410 Saint-Maurice, France.

École nationale de chimie physique et biologie, 11, rue Pirandello, 75013 Paris, France.

J.-F. Doubrère, Praticien hospitalier.

Centre hospitalier de Montereau, 1 bis, rue Victor-Hugo, 77875 Montereau cedex, France.

Centre d'évaluation et de traitement de la douleur, Centre hospitalier Saint-Antoine, 184, rue du Faubourg Saint-Antoine, 75012 Paris, France.

M. Vanderthommen, Chargé de cours.

Département des sciences de la motricité, Université de Liège ISEPK B21 Sart-Tilman, 4000 Liège, Belgique.

E. Castel-Kremer, Praticien hospitalier.

Hôpitaux Universitaires, 1, place de l'Hôpital, 67091 Strasbourg, France.

G. Cadet.

École nationale de kinésithérapie et de rééducation, 12, rue du Val-d'Osne, 94410 Saint-Maurice, France.

Cualquier referencia a este artículo debe incluir la mención del artículo original: Crépon F., Doubrère J.-F., Vanderthommen M., Castel-Kremer E., Cadet G. Électrothérapie. Électrostimulation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-145-A-10, 2007.

Disponible en www.emc-consulte.com/es



Algoritmos



Ilustraciones complementarias



Videos / Animaciones



Aspectos legales



Información al paciente



Informaciones complementarias



Autoevaluación