

- Shea B, Judd M, Wells G, Tugwell P. *Ultrasonido terapéutico para el tratamiento del síndrome de dolor patelofemoral (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.
- 16.- Flemming K, Cullum N *Terapia con láser para las úlceras venosas de la pierna (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.
- 17.- Yousefi-Nooraie R, Schonstein E, Heidari K, Rashidian A, Akbari-Kamrani M, Irani S, Shakiba B, Mortaz Hejri Sa, Mortaz Hejri So, Jonaidi A. *Terapia con láser de baja intensidad para el dolor lumbar inespecífico (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.
- 18.- Brosseau L, Robinson V, Wells G, deBie R, Gam A, Harman K, Morin M, Shea B, Tugwell P *Terapia con láser de baja intensidad (Clases I, II y III) para el tratamiento de la artritis reumatoide (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.
- 19.- Diaz Borrego P; Fernandez Torrico JM; Perez Castilla J. *Electromagnetismo: aplicaciones clínicas en aparato musculoesquelético. Rehabilitación (Madr) 2003;37(3):145-151*
- 20.- Hulme J, Robinson V, DeBie R, Wells G, Judd M, Tugwell P. *Campos electromagnéticos para el tratamiento de la osteoartritis (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.
- 21.- - Martínez Llanos, R.; Pérez Castilla, J.; Moruno García, R. *Estudio comparativo del efecto de la calcitonina, difosfonatos y magnetoterapia en el tratamiento de la osteoporosis postmenopáusica ; Rehabilitación (Madr) 2002 ; 36(1) : 19-28*
- 22.- - Díaz Borrego, P; Fernández Torrico, J.M.; Pérez Castilla, J.; *Efectos biológicos de los campos electromagnéticos sobre el tejido óseo . Rehabilitación(Madr) 2003 ; 37(5) : 252-255*
- 23.- Ferrero Méndez A. *Medicina ortomaneal*. En: *Rehabilitación Médica*. J. L .Miranda Mayordomo Ed . Madrid 2004
- 24.- Furlan AD, Brosseau L, Imamura M, Irvin E *Masaje para el dolor lumbar (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.
- 25.- Brosseau L, Casimiro L, Milne S, Robinson V, Shea B, Tugwell P, Wells G. *Masajes de fricción transversal profundos para el tratamiento de la tendinitis (Revisión Cochrane traducida)*. En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2007 Número 4. Oxford: Update Software Ltd.

3. Electroterapia de baja y media frecuencia

Mónica Romo-Monje

Complejo Universitario Hospitalario de Vigo, Vigo
e-mail: mónica.romo.monje@sergas.es

La electroterapia es una técnica más del arsenal terapéutico que disponemos en Rehabilitación. Se fundamenta en la utilización de los efectos biológicos que las radiaciones no ionizantes ejercen sobre los tejidos vivos. Estos efectos, ampliamente demostrados tanto en estudios in vitro como in vivo, pueden resumirse en la producción de fenómenos electroquímicos, en la capacidad para la estimulación nerviosa tanto sensitiva como motora y en el aporte de energía. En un afán por simplificar y facilitar la comprensión de las diferentes corrientes, se han elaborado numerosas clasificaciones atendiendo al tipo de onda, a la polaridad, a los mecanismos por los que actúan, a los efectos que producen, etc. Quizás la clasificación más sencilla y publicada es la que diferencia entre corrientes de baja frecuencia (de 0 a 1000 Hz), corrientes de media frecuencia (de 1000 a 50.000 Hz) y corrientes de alta frecuencia (a partir de 100.000 Hz hasta las radiaciones ultravioletas tipo B. En este capítulo se van a describir las propiedades y la forma de aplicación de las corrientes de baja y media frecuencia que engloban *las corrientes bifásicas, las corrientes diadinámicas y las ultraexcitantes* en el rango de la baja frecuencia y *las corrientes interferenciales* en la media frecuencia¹.

Por otra parte existe un tipo de corriente eléctrica que no encaja demasiado bien en esta clasificación y que es la corriente *galvánica*. Se define como una corriente continua, unidireccional, constante en su intensidad, de bajo voltaje y sin interrupciones por lo que no se puede hablar de ninguna frecuencia.

Los efectos que produce en el organismo pueden dividirse en efectos polares, lo que ocurre bajo los electrodos, y efectos interpolares o galvanismo médico. Hoy en día, la galvanización médica, que se basa en la vasodilatación, la mejora del trofismo y el aporte calórico, prácticamente no se aplica en los Servicios de Rehabilitación debido a que estos efectos terapéuticos se pueden conseguir por otros medios mucho más seguros. Sin embargo, sí se sigue utilizando la corriente galvánica por sus efectos polares o capacidad electroforética en la que cada polo rechaza los iones de su misma carga. Esta técnica recibe el nombre de IONTOFORESIS y se basa en la introducción de determinadas sustancias en el organismo, a través de la piel, gracias al paso de una corriente eléctrica. Las ventajas que tiene esta forma de administración de medicamentos se resumen en:

- El efecto es principalmente local, aunque no se descartan ciertos efectos generales con determinadas sustancias que se propagan a través de la circulación del tejido celular subcutáneo²
- Permite aplicar tratamientos de larga duración ya que la sustancia penetra en pequeñas cantidades y se reducen los efectos secundarios.
- Tiene mayor capacidad de penetración que la vía transdérmica pasiva y de esta forma los efectos aparecen mucho más rápido. Además permite la introducción de sustancias con alto peso molecular que no son capaces de absorberse de forma pasiva.

En contrapartida también hay que conocer sus inconvenientes:

- Aún hoy no se ha logrado averiguar la cantidad exacta de sustancia que penetra a través de la piel mediante la iontoforesis. Hay estudios que demuestran la influencia en la capacidad de penetración de la intensidad de corriente³, del tiempo de aplicación y de la concentración del fármaco en el preparado². Además se ha comprobado que el voltaje es fundamental para destruir los enlaces químicos de determinados medicamentos y así facilitar el transporte.

- No todos los medicamentos pueden ser utilizados en iontoforesis. Se trata de preparados especiales, con un grado de disolución específico y que además pueden ionizarse por la corriente galvánica. Se han publicado bastantes tablas con los compuestos que existen para este tratamiento, en ellas se señala la polaridad para saber en qué electrodo colocar la sustancia y los efectos locales o generales si los tienen.

- Los principales efectos secundarios derivan del tipo de corriente eléctrica empleada y son las quemaduras o irritaciones cutáneas bajo los electrodos^{4,5}. Dependen de la sensibilidad cutánea de cada paciente y de la correcta aplicación de la técnica.

La forma de aplicación de este tratamiento requiere la sucesión de una serie de pasos importantes para obtener los resultados esperados:

- 1º. Preparación de la piel de la zona de tratamiento. Es necesario limpiarla con alcohol para eliminar todas las sustancias que puedan obstaculizar el paso del medicamento y además hay que evitar las zonas sensibles o con erosiones.

- 2º. Colocación de los electrodos. El electrodo activo será el que contenga la solución del medicamento (siempre con la misma carga iónica), se situará sobre el área a tratar y el electrodo indiferente, de mayor tamaño, en una zona próxima.

- 3º. Programación del generador de corriente galvánica. Se calcula la densidad de corriente

que corresponde a la intensidad que pasa por centímetro cuadrado de superficie del electrodo. El intervalo va desde 0.1 mA/cm² a 0.5 mA/cm², pero siempre se empiezan utilizando intensidades bajas (0.15 mA/cm²) para ir aumentando a lo largo del tratamiento dependiendo de la tolerancia que tenga el paciente. Otro parámetro a calcular es el tiempo de tratamiento, que también influye en la penetración del fármaco mediante la prolongación de la permeabilidad de la piel. Así, de forma práctica, las sesiones comienzan siendo de 10 o 15 minutos para ir alargándolas en función de los resultados y la tolerancia. Hoy en día la mayor parte de los tratamientos se hacen con corriente galvánica pero interrumpida en forma de pulsos, tiene las ventajas que disminuye los riesgos de quemaduras y facilita la penetración de la sustancia al emplear densidades de corriente más altas y favorecer la disgregación de las moléculas ionizadas. También se emplean las corrientes interferenciales de media frecuencia modificadas, mediante una rectificación de las ondas, que da lugar a una forma muy parecida a las corrientes diadinámicas pero de mayor frecuencia (4000 Hz).

Las indicaciones terapéuticas más comunes son:

- Tratamiento de lesiones inflamatorias tendinosas superficiales como es el caso de la tendinitis del manguito rotador⁶, la epicondilitis, la epitrocleitis, la tendinitis rotuliana, la tendinitis aquilea, etc. Los fármacos habitualmente empleados son AINEs como la indometacina, anestésicos locales como la lidocaína⁷, corticoides como el fosfato sódico de dexametasona o la prednisolona.

- Tratamiento analgésico general del dolor crónico o incluso en casos de dolor agudo severo. Utilizando sustancias como el fentanilo⁸, la lidocaína o la ketamina⁹.

- Para la hiperhidrosis palmo-plantar idiopática¹⁰

- En las calcificaciones tendinosas y musculares con ácido acético¹¹

- En lesiones nerviosas de tipo sensitivo mediante la colocación de los electrodos en el trayecto del nervio y la aplicación de sustancias como anestésicos locales o antiinflamatorios.

CORRIENTES DE BAJA FRECUENCIA.

Las corrientes que se van a describir a continuación se diferencian de la corriente galvánica en que no tienen un flujo constante sino que están interrumpidas dando lugar a periodos de impulso eléctrico y periodos de reposo. Una de las indicaciones más comunes es el tratamiento del dolor y el principal mecanismo por el que actúan es mediante la inhibición de su transmisión hacia estructuras nerviosas centrales (Teoría de la compuerta del dolor¹²). De forma muy resumida, sabemos que el dolor se origina por la activación de los receptores nociceptivos periféricos que a su vez excitan las fibras de pequeño diámetro A-delta y C encargadas de transmitir los impulsos dolorosos hasta el asta dorsal de la médula. Desde allí, los impulsos dolorosos siguen su camino hasta los centros del dolor en el sistema nervioso central. Al mismo tiempo existen unas conexiones de las fibras A-delta y C con las neuronas del asta anterior medular que producen una contracción muscular refleja responsable de nuevos estímulos dolorosos que condicionan una cronicidad del cuadro clínico. Existen otro tipo de fibras nerviosas de grueso calibre, las fibras A-beta, que cuando se activan estimulan a las interneuronas moduladoras localizadas en la sustancia gelatinosa del asta dorsal, y así evitan la transmisión del dolor por la médula. Como conclusión, del equilibrio entre la activación de las fibras de pequeño y grueso diámetro dependerá la percepción dolorosa y así mediante la manipulación externa, con la electroterapia analgésica, se puede modificar este equilibrio a favor de la despolarización de las fibras de grueso calibre y por consiguiente la interrupción de la transmisión del dolor. Hay que añadir otro mecanismo periférico por el que

las corrientes analgésicas actúan en el control del dolor y es mediante el bloqueo antidrómico de los impulsos de las fibras A-delta y C antes de alcanzar el asta dorsal de la médula. Para ello es necesario que tanto la intensidad, como la frecuencia y la duración de los impulsos de la corriente eléctrica sean lo suficientemente elevados como para producir este bloqueo y la despolarización de las fibras nociceptivas.

CORRIENTES ULTRAEXCITANTES O DE TRABERT.

La principal característica es que son un tipo de corrientes muy rígidas porque sus parámetros se mantienen siempre fijos. Están formadas por impulsos rectangulares, unidireccionales, con una duración de 2 milisegundos y reposos de 5 milisegundos. Por su frecuencia (142Hz) son fundamentalmente analgésicas, pero al tratarse de impulsos rectangulares, cuando se sube mucho la intensidad, despolarizan las fibras motoras y son capaces de producir contracciones musculares. Los tratamientos tienen que ser de corta duración y variando continuamente la intensidad para que no se produzca la acomodación. Se indican sobre todo para el tratamiento del dolor en las patologías del raquis, bien con una aplicación localizada sobre la columna o bien situando uno de los canales en la zona de irradiación del dolor, como puede ser en las lumbociatalgias o cervicobraquialgias. Al tratarse de corrientes con polaridad es frecuente provocar quemaduras, por ello se debe tener especial cuidado en la aplicación de la técnica.

CORRIENTES DIADINÁMICAS O DE BERNARD.

Son corrientes formadas por impulsos sinusoidales que tienen una frecuencia fija de 50 o de 100 Hz. y según cómo se combinen estas frecuencias se van a obtener los cinco tipos fundamentales de diadinámicas:

1. Monofásica fija: es una corriente unidireccional de 50 Hz que resulta de la filtración por un diodo de la corriente alterna de la red provocando la eliminación de la semionda negativa. Tiene un efecto muy estimulador o dinamogénico. Son molestas y se toleran muy mal.

2. Difásica fija: es una corriente de 100Hz con impulsos sinusoidales de 10ms de duración y sin reposo entre ellos. Se obtiene mediante la fusión de dos circuitos filtrados por el diodo, de forma que los impulsos de un circuito coinciden con los reposos del otro y así la corriente resultante tiene una frecuencia de 100Hz. Su principal efecto es analgésico, pero es muy fácil la acomodación.

3. Cortos periodos (C.P): se compone de una corriente monofásica fija de un segundo de duración seguida de una difásica fija de otro segundo de duración. Tienen efecto tanto analgésico como estimulador, aunque la acomodación es menos frecuente que con la anterior ya que los impulsos son menos homogéneos.

4. Largos periodos (L.P): se compone de una monofásica fija de 10 segundos seguida de otro periodo de 8 o 10 segundos de difásica fija. Son principalmente analgésicas.

5. Ritmo sincopado: tiene una corriente monofásica fija de un segundo de duración, seguida de un periodo de reposo de otro segundo. Tiene un efecto excitomotor y protege al músculo de la fatiga gracias al segundo de reposo.

Casi todos los aparatos tienen además la posibilidad de añadir una base galvánica de baja intensidad y así se pueden aprovechar también sus efectos incluidos los electroforéticos.

Indicaciones: cada vez se utilizan menos y sobre todo se aplican como corrientes analgésicas ya que el efecto despolarizador de la fibra motora no es muy potente. El principal inconveniente es la acomodación, para evitarlo se combinan entre ellas y así por ejemplo se puede aplicar una secuencia de dos o tres minutos de difásica fija seguida de ocho o

diez minutos de largos periodos. Se suelen emplear para el tratamiento de algias osteoarticulares donde se asocian contracturas musculares. Cuando el dolor es agudo son útiles las difásicas fijas, los largos periodos y los cortos periodos mientras que si las contracturas son crónicas lo más indicado es aplicar difásicas fijas o ritmo sincopado con una base galvánica para favorecer la vasodilatación. Incluso si existiera fibrosis se puede realizar al mismo tiempo un masaje de la zona gracias a los electrodos tipo guante.

TENS O ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NERVIOSA TRANSCUTÁNEA.

Son corrientes analgésicas que pueden estar formadas por impulsos tanto monofásicos como bifásicos, pero casi siempre de forma cuadrangular. Esta forma de la onda no influye en la capacidad para controlar el dolor, pero sí en la tolerancia por el paciente (menos molestos los impulsos bifásicos). Una de las ventajas que tiene es que son generadores portátiles, fácilmente manejables y muy utilizados de forma domiciliaria en el caso de patologías osteoarticulares crónicas¹³. Existen diferentes modos de utilizar el TENS según se varíen los parámetros de frecuencia, intensidad y duración del pulso, actuando cada uno de ellos por un mecanismo diferente^{14,15}. En el caso de programarlo para utilizarlo de forma convencional, la frecuencia suele ser alta de 50 a 250 Hz, el impulso dura de 150 a 200 microsegundos y la intensidad se eleva hasta que es perceptible pero tolerable. La otra forma más popular de utilizar el TENS es el modo de baja frecuencia, en el que no se superan los 50Hz, los impulsos son grandes de 250 a 400 microsegundos y la intensidad se eleva hasta ser molesta. El mecanismo por el que el TENS de alta frecuencia produce la analgesia es mediante la teoría de la compuerta, mientras que al programar frecuencias bajas se producen otros fenómenos

como la liberación de endorfinas en el sistema nervioso central^{14,16}. También se ha comprobado que utilizando frecuencias altas la analgesia dura poco tras finalizar el tratamiento, mientras que con frecuencias más bajas la ausencia de dolor se mantiene durante más tiempo¹⁵.

Indicaciones:

- En algias vertebrales. En cervicalgias, dorsalgias y lumbalgias, la colocación de los electrodos puede ser sobre la columna o sobre zonas musculares paravertebrales contracturadas, empleando varios canales. En el tratamiento de lumbociatalgias y cervicobraquialgias, hay que utilizar más de un canal e incluir la zona de irradiación por el dermatoma correspondiente.

- Periartritis escapulohumeral. En el dolor por procesos inflamatorios tendinosos o articulares, tras intervenciones quirúrgicas o en el hombro doloroso del hemipléjico. En las patologías agudas hay que aplicar la técnica de la alta frecuencia para estimular sobre todo las fibras nerviosas sensitivas y así inhibir la transmisión de las aferencias dolorosas. Además es muy útil para facilitar la movilización del hombro; los electrodos se suelen colocar en la fosa supraespinosa y en la cara anterior debajo de la apófisis coracoides. De la misma forma, también es efectivo para tratar procesos inflamatorios de otras articulaciones como la rodilla, donde tanto el TENS de baja frecuencia como el de alta se han demostrado efectivos en el control del dolor y de la mejoría funcional¹⁷.

- En el dolor de origen neuropático. Se incluyen aquellas lesiones nerviosas periféricas sensitivas como la neuralgia herpética o la del trigémino, en neuropatías traumáticas o por compresión, e incluso en el tratamiento del miembro fantasma de los amputados. Los electrodos se colocan a lo largo del trayecto nervioso, se utiliza la forma de la alta frecuencia y los tiempos de tratamiento son prolongados para bloquear la transmisión de los impulsos nociceptivos a nivel medular, puesto que el dolor aparece al poco tiempo de retirar el TENS.

- En el dolor miofascial. Se puede aplicar como tratamiento único domiciliario o más efectivo aún asociado a otras medidas como un programa de ejercicios, inyecciones locales de anestésicos o corticoides, farmacoterapia sistémica y terapia conductual. Presenta una serie de ventajas como la inocuidad y la capacidad del paciente para programar el TENS según las características específicas de su dolor en cada momento¹⁸.

- En el dolor de origen visceral. Casi siempre como complemento de

la terapia analgésica general y con el objetivo de poder reducir las dosis de los medicamentos. Por ejemplo en la dismenorrea se ha demostrado la efectividad del TENS de alta frecuencia frente al placebo o al TENS de baja frecuencia¹⁹. La situación de los electrodos sería sobre la zona dorsolumbar y también se puede aplicar otro canal a nivel abdominal.

- Influencia en la plasticidad del sistema nervioso central. Este último apartado no tiene relación con el tratamiento del dolor pero sí con los impulsos sensitivos que se generan mediante la estimulación eléctrica de un miembro. Se está comprobando que la asociación de este tipo de estimulación junto con una serie de ejercicios físicos domiciliarios mejora la espasticidad y la función en pacientes hemipléjicos crónicos²⁰.

Las contraindicaciones del TENS no son importantes y se resumen en evitar la aplicación en personas con marcapasos cardíaco y en la zona anterior del cuello por posible riesgo de estimulación laríngea o del seno carotídeo. Como la mayor parte de la electroterapia se evita el uso durante el embarazo.

CORRIENTES DE MEDIA FRECUENCIA O CORRIENTES INTERFERENCIALES.

Se caracterizan por ser impulsos sinusoidales alternos con una frecuencia entre 2000 y 10000 Hz,

aunque lo habitual es que sea de 4000 Hz, la finalidad de este tipo de corrientes es poder aplicar intensidades altas, para conseguir mayor efecto fisiológico y con más poder de penetración, sin ocasionar ninguna molestia. A medida que aumenta la frecuencia de una corriente, disminuye la resistencia de los tejidos que atraviesa, sobre todo de la piel, y es mejor tolerada aunque la intensidad sea elevada. El mecanismo de esta técnica está basado en la interferencia, dentro del organismo (llamado método tetrapolar) o en el propio equipo (método bipolar), de dos corrientes alternas sinusoidales de media frecuencia para que finalmente la resultante tenga las propiedades y los efectos de una corriente de baja frecuencia. La corriente derivada de esta interferencia tiene una frecuencia que va de 0 a 250 Hz, esta puede estar modulada sólo en amplitud (A.M.), es decir la intensidad va subiendo y bajando continuamente manteniéndose una frecuencia fija, o también puede estar modulada en amplitud y frecuencia (A.M.F.) que consiste en variar la intensidad pero también la frecuencia de los impulsos resultantes. Actualmente los equipos modernos tienen la opción de aplicar las corrientes interferenciales en forma de trenes de impulsos y reposos, con la posibilidad añadida de poder modular la frecuencia (A.M.F.) dando lugar a formas triangulares o cuadrangulares que se utilizan para la estimulación muscular.

Efectos de las corrientes interferenciales:

- *Despolarización de las fibras musculares.* Los impulsos sinusoidales tal cual son poco efectivos y además no permiten aplicar reposos como en el caso de las modulaciones cuadrangulares, de ahí que cuando se quieren utilizar para la estimulación muscular se emplean los barridos de A.M.F. en forma rectangular. Por otro lado es preferible el método bipolar al tetrapolar ya que en este la zona de actuación es profunda y está mal definida. En el caso de parálisis nerviosas periféricas sólo son efectivas las modulaciones triangulares, también en forma de barridos, con periodos de reposo lo

suficientemente amplios que permitan la relajación del músculo.

- *Efecto analgésico.* Ya se ha visto que dependiendo del valor de la A.M.F. se van a estimular mejor las fibras nerviosas motoras o las sensitivas. De este modo, A.M.F. a partir de 100Hz se indicarán para la analgesia puesto que con esta frecuencia es difícil la repolarización de la membrana de la fibra muscular²¹. Se pueden tratar tanto procesos del raquis como de las articulaciones periféricas. En el dolor crónico asociado a contracturas no es mala idea usar frecuencias de despolarización motora tetanizantes, evitando colocar los electrodos sobre trayectos nerviosos, para provocar contracciones musculares no dolorosas que lleguen a desencadenar la fatiga muscular.

- *Efectos sobre el tejido conjuntivo.* Son capaces de mejorar la vascularización, ayudar a la reabsorción de los derrames articulares, favorecer la nutrición del cartílago y mejorar las adherencias fibrosas. Debido a todo esto se pueden aplicar en articulaciones con retracciones capsuloligamentosas y con limitación de la movilidad.

Contraindicaciones: se debe evitar colocar los electrodos sobre la zona torácica, tener precaución cuando existan marcapasos cardíacos y sobre zonas próximas a centros neurovegetativos. También hay que evitar las áreas infecciosas o tumorales y están contraindicadas en el embarazo.

ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR

Una de las propiedades que tienen las corrientes de baja frecuencia es la de poder inducir una contracción muscular mediante la excitación de las fibras nerviosas motoras o bien directamente del músculo. Los fines con los que se utilizan en rehabilitación son para evitar la atrofia y recuperar la fuerza de aquellos grupos musculares que por lesiones del aparato locomotor no pueden realizar los ejercicios físicos necesarios para su fortalecimiento. Con esta técnica no es posible conseguir una

hipertrofia del músculo sano y existen trabajos donde se demuestra que se obtienen mejores resultados con el entrenamiento físico, ya que permite desarrollar contracciones de alta intensidad sin causar molestias²². Se sabe que para mantener la fuerza y el trefismo se necesitan contracciones musculares con una intensidad por encima del 20% de la fuerza máxima de contracción isométrica, mientras que para aumentar el rendimiento hay que desarrollar picos de fuerza superiores al 35% de esta fuerza máxima²³ esto es válido tanto para el tratamiento con ejercicios de fortalecimiento como para la electroestimulación.

Para que la estimulación neuromuscular sea efectiva hay que saber programar sus parámetros principales y de qué forma son capaces de influir en la respuesta muscular:

- *La intensidad.* Todas las fibras musculares necesitan un nivel mínimo de intensidad del impulso eléctrico para que se produzca la despolarización, a partir de este valor a medida que se eleva la intensidad aumenta el número de fibras estimuladas y el músculo se va contrayendo con mayor potencia. Pero cuando se alcanza un valor llamado intensidad máxima por mucho que se siga subiendo se mantiene la misma tensión. En la práctica la intensidad se selecciona según la tolerancia del paciente e intentando conseguir una contracción muscular visible. La mayor parte de los trabajos coinciden en que la intensidad no influye en la eficacia de la electroestimulación a diferencia del pico de fuerza muscular que sea capaz de desarrollar siendo lo más relevante para aumentar el rendimiento muscular^{23,24}.

Un concepto muy utilizado en electrodiagnóstico es el de Reobase que se define como la intensidad necesaria para producir una contracción cuando se usan impulsos rectangulares de 1 segundo de duración. En el caso que los impulsos sean exponenciales (existe una pendiente de ascenso de la intensidad hasta que se consigue el valor que produce la contracción) se denomina Umbral

Galvanotétanos (UGT). El cociente entre el UGT y la Reobase constituye el coeficiente de acomodación cuyo valor normal es entre 4 y 6, es decir se necesita mucha más intensidad para despolarizar una fibra muscular normal con impulsos triangulares que con los rectangulares. Este fenómeno se debe a la capacidad de acomodación que tiene el músculo normal al ascenso progresivo de la intensidad de corriente. Si ocurre una parálisis nerviosa periférica esta característica se pierde y el coeficiente de acomodación se acerca a la unidad. En relación con todo lo anterior es lógico que para estimular selectivamente las fibras musculares denervadas, y no las sanas, se apliquen corrientes de tipo exponencial.

- *La duración del impulso eléctrico.* La eficacia de la estimulación neuromuscular es mayor con impulsos más largos y así se cree que tiempos menores de 50 microsegundos son ineficaces y tiempos entre 250 y 300 microsegundos son los idóneos. Además se ha visto que a medida que se aumenta la duración del impulso la tolerancia al tratamiento mejora porque se necesita una intensidad menor para provocar la contracción adecuada.

Con este parámetro y la intensidad se elaboran las clásicas curvas I/t, útiles para diagnosticar una lesión por denervación incluso más precozmente que la electromiografía, hoy en día la prueba de elección. Además estas curvas, fáciles de realizar con los aparatos modernos, van a permitir calcular la duración del impulso exponencial más efectiva para estimular un determinado músculo denervado.

Existe otro valor llamado Cronaxia que se refiere al tiempo que necesita un impulso rectangular para producir una contracción cuando se emplea una intensidad que es el doble de la Reobase. En las parálisis nerviosas periféricas, la Cronaxia, aumenta mucho durante las primeras 24-48 horas.

- *La frecuencia.* En el músculo existen dos tipos de fibras musculares, las fibras tipo II o fásicas, sensibles a la fatiga e inervadas por unidades motoras rápidas, y las fibras tipo I o tónicas, inervadas por unidades

motoras lentas. Cuando se produce una contracción muscular voluntaria, las primeras en activarse son las fibras tónicas y sólo en el caso que se necesitara mayor fuerza se contraerían las fibras fásicas. Cada motoneurona tiene su rango de frecuencia de descarga específica, de forma que según la frecuencia que utilicemos en la estimulación eléctrica vamos a activar un tipo u otro de fibra muscular²⁵. Con la aplicación de frecuencias altas (70-100Hz) se obtienen contracciones más eficaces y vigorosas, puesto que se activan todas las unidades motoras a la vez y preferentemente las fibras fásicas²⁶, hecho que nunca sucede en una contracción voluntaria en la que se van reclutando de forma secuencial y siempre en primer lugar las tónicas. El peligro de estas frecuencias tetanizantes es la facilidad para producir la fatiga muscular, por ello en los tratamientos hay que utilizar valores inferiores (30-50Hz) a pesar de que la contracción sea menos eficaz²⁷.

- La forma de la onda de corriente. La electroestimulación muscular se puede llevar a cabo con impulsos sinusoidales alternos (corrientes interferenciales), corrientes farádicas monofásicas, con impulsos exponenciales (para los músculos denervados) o con corrientes rectangulares bifásicas simétricas y asimétricas. Este último tipo de corriente es la más utilizada ya que es capaz de desarrollar mayor fuerza de contracción muscular con una menor intensidad y mejor tolerancia²⁸.

Indicaciones de la estimulación neuromuscular:

- En las atrofas por inmovilización. Constituye la aplicación más frecuente e incluye las atrofas por lesiones musculoesqueléticas²⁹, bien por traumatismos, por patologías articulares inflamatorias-mecánicas o tras la cirugía articular, y las amiotrofas que se producen por encamamiento prolongado. La electroestimulación está indicada sobre todo en las fases agudas cuando no es posible realizar ejercicios físicos de fortalecimiento muscular y de este modo se pueden mantener el trefismo y la fuerza sin causar dolor. Hay que llevar a cabo

la técnica de forma meticulosa y así por ejemplo los electrodos deben ser proporcionales al tamaño del músculo (en el caso de músculos pequeños y distales es mejor aplicar la técnica monopolar), las frecuencias altas son mejor toleradas pero siempre que los tiempos de estimulación y de reposo (3 o 4 veces el tiempo de acción) sean adecuados a la debilidad del músculo para no desencadenar una fatiga.

- *En lesiones neurológicas centrales.* Concretamente se utiliza en la lesión medular y en la hemiplejia con los objetivos, más que de potenciar la musculatura, de tratar la espasticidad y de mantener ciertas funciones perdidas como la marcha³⁰. Cuando la estimulación neuromuscular se aplica con el fin de asistir o recuperar una función perdida se denomina estimulación eléctrica funcional. Esta comenzó utilizándose para mejorar el patrón de marcha de los pacientes hemipléjicos permitiendo una dorsiflexión del pie equino mediante la estimulación del tibial anterior o del ciático poplíteo externo. Después se ha usado para conseguir la marcha de lesionados medulares, que mantenían un cierto control postural, mediante dispositivos multicanal que permitían la estimulación secuencial de diferentes grupos musculares. También existen sistemas híbridos formados por varios canales de estimulación y una ortesis que inmoviliza el miembro superior o inferior en la postura más apta para un determinado patrón de movimiento. En este sentido se ha intentado mejorar la función del miembro superior de los hemipléjicos con la estimulación de la musculatura extensora de la muñeca y flexora de los dedos para permitir la prensión grosera³¹. En cuanto al tratamiento de la espasticidad se ha comprobado que se obtienen mejores resultados en pacientes medulares que en hemipléjicos y que es necesario una estimulación eléctrica constante en el tiempo para mantener la relajación muscular.

- *En las parálisis nerviosas periféricas.* Se utiliza la estimulación eléctrica para evitar la atrofia,

BIBLIOGRAFÍA

la fibrosis y para mantener las propiedades de contractibilidad de la fibra muscular hasta que aparezcan los signos de reinervación. Ya se han descrito previamente las peculiaridades del músculo denervado en cuanto a que pierde su capacidad de acomodación cuando se sube progresivamente la intensidad de corriente mediante los impulsos triangulares. Por ello se usan este tipo de impulsos y además hay que programar tiempos de reposo más largos, en sesiones de corta duración, porque existe mayor facilidad para sufrir fatiga³². Otro parámetro que sería idóneo calcular específicamente para cada tratamiento es el tiempo útil de duración del impulso exponencial para la estimulación, ya que puede variar de unos músculos a otros y de él depende la efectividad de la contracción inducida.

- *En la incontinencia esfinteriana.* Forma parte del tratamiento multidisciplinar, tanto de la incontinencia urinaria como de la anal, en combinación con otras técnicas como la cinesiterapia del suelo pélvico o las medidas comportamentales. Se pretende fortalecer la musculatura del suelo pélvico y relajar el detrusor mediante su estimulación con corriente eléctrica aplicada a través de electrodos endocavitarios o externos³³. Se utilizan corrientes que no tengan polaridad y con ello ningún riesgo de producir quemaduras sobre todo a nivel de las mucosas, entre ellas están las corrientes bifásicas simétricas y las interferenciales. Uno de los parámetros más importantes es la frecuencia, en el caso que la incontinencia sea de urgencia este valor será de 5-10Hz para ayudar a la relajación del detrusor mientras que en la incontinencia de esfuerzo o mixta se usan frecuencias más altas en el orden de 10 a 50Hz para fortalecer la musculatura del periné.

1. Rioja J. *Electroterapia y electrodiagnóstico*: Juan Rioja Toro. Universidad de Valladolid: Secretariado de Publicaciones; 1996.
2. Monteiro-Riviere NA. *Altered epidermal morphology secondary to lidocaine iontophoresis: in vivo and in vitro studies in porcine skin*. *Fundam Appl Toxicol* 1990; 15:174-85.
3. Siegel SJ, O'Neill C et al. *A unique iontophoretic patch for optimal transdermal delivery of sumatriptan*. *Pharm Res*. 2007 Oct;1919-26.
4. Li GL, Van Steeg TJ, Putter H et al. *Cutaneous side-effects of transdermal iontophoresis with and without surfactant pretreatment: a single-blinded, randomized controlled trial*. *Br J Dermatol*. 2005 Aug;153(2):404-12.
5. Singh J, Gross M, Sage B et al. *Regional variations in skin barrier function and cutaneous irritation due to iontophoresis in human subjects*. *Food Chem Toxicol*. 2001 Nov;39(11):1079-86.
6. Rioja J, García I, Prada J y col. *Eficacia de la iontoforesis-corticoide en el tratamiento del hombro doloroso*. *Estudio prospectivo doble ciego*. *Rehabilitación (Madr)* 1996.30:181-86.
7. Yarrobino TE, Kalbfleisch JH, Ferslew KE. *Lidocaine iontophoresis mediates analgesia in lateral epicondylalgia treatment*. *Physiother Res Int*. 2006 Sep;11(3):152-60.
8. Eberhart L. *The safety and tolerability of the fentanyl HCl iontophoretic transdermal system: an alternative to currently available analgesic modalities*. *J Opioid Manag*. 2007 Sep-Oct;3(5):249-56.
9. Vranken JH, Dijkgraaf MG, Kruis MR et al. *Iontophoretic administration of S(+)-ketamine in patients with intractable central pain: a placebo-controlled trial*. *Pain*. 2005 Nov;118(1-2):224-31.
10. Ram R, Lowe NJ, Yamauchi PS. *Current and emerging therapeutic modalities for hyperhidrosis, part 1: conservative and noninvasive treatments*. *Cutis*. 2007 Mar;79(3):211-7.

11. Rioja J, Romo M, Cantalapiedra E y col. Tratamiento de la tendinitis calcificante del hombro mediante iontoforesis con ácido acético y ultrasonidos: estudio prospectivo. *Rehabilitación (Madr)* 2001;35:166-74.
12. Melzack R, Wall PD. Pain mechanism: a new theory. *Science* 1985;150:971-9.
13. Béseler MR, Girona G, Mañez I y col. Empleo de TENS en el ámbito domiciliario. *Rehabilitación (Madr)* 1999;33(4):243-248.
14. Walsh DM, Lowe AS, McCormack K et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation: effect on peripheral nerve conduction, mechanical pain threshold, and tactile threshold in humans. *Arch Phys Med Rehabil* 1998 Sep;79(9):1051-8.
15. Chesterton LS, Barlas P, Foster NE et al. Sensory stimulation (TENS): effects of parameter manipulation on mechanical pain thresholds in healthy human subjects. *Pain* 2002 Sep;99(1-2):253-62.
16. Dean J, Bousher D, Johnson MI. The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on bilateral somatosensory thresholds. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006 Sep;26(5):314-8.
17. Osiri M, Welch V, Brosseau L et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation for Knee osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2000;(4):CD002823.
18. Phero JC, Raj PP, McDonald JS. Transcutaneous electrical nerve stimulation and myoneural injection therapy for management of chronic myofascial pain. *Dent Clin North Am* 1987 Oct;31(4):703-23.
19. Proctor ML, Smith CA, Farquhar CM, Stones RW. Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture for primary dysmenorrhoea. *Cochrane Database Syst Rev* 2002;(1):CD002123.
20. Ng SS, Hui-Chan CW. Transcutaneous electrical nerve stimulation combined with task-related training improves lower limb functions in subjects with chronic stroke. *Stroke* 2007 Nov;38(11):2953-9.
21. Johnson MI, Tabasam G. An investigation into the analgesic effects of interferencial currents and transcutaneous electrical nerve stimulation on experimentally induced ischemic pain in otherwise pain-free volunteers. *Phys Ther* 2003 Mar;83(3):208-23.
22. Currier DP, Mann R. Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther* 1983;63:915-21.
23. Snyder-Mackler, Delitto A, Stralka S, Bailey S. Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 1994;74:901-07.
24. Miller Ch, Thepaut-Mathieu Ch. Entrainement sous électrostimulation ou par contraction volontaire. *Kinésithér Sci* 1990;293:37-48.
25. Vanderthommen M, Duchateau J. Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exerc Sport Sci Rev* 2007 Oct;35(4):180-5.
26. Trimble MH, Enoka RM. Mechanisms underlying the training effects associated with neuromuscular electrical stimulation. *Phys Thé* 1991;71:273-82.
27. Vanderthommen M, Kelleter B, Crielaard JM. Les courants excito-moteurs de basses frequences. Détermination des frequences optimales de tétanisation. *A Kinésithe* 1991;18:481-2.
28. Coarasa A, Moros T, Marco C, Comín M. Fuerza muscular inducida y tolerancia en diferentes corrientes excitomotoras. *Rehabilitación (Madr)* 2001;35(5):279-86.
29. Lake DA. Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports Med* 1992 May;13(5):320-36.
30. Yan T, Christina WY, Leonard SW. Functional electrical stimulation improves motor recovery of lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke. *Stroke* 2005 Jan;36(1):80-5.

31. Kowalczeowski J, Gritsenko V, Ashworth N, Ellaway P, Prochazka A. Upper-extremity functional electric stimulation-assisted exercises on a workstation in the subacute phase of stroke recovery. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007 Jul;88(7):833-9.
32. Kern H, Hofer C, Mödlin M, Forstner C et al. Denervated muscles in humans: limitations and problems of currently used functional electrical stimulation training protocols. *Artif Organs* 2002 Mar;26(3):216-8.
33. Lee JY, Chancellor MB. Using electrical stimulation for urinary incontinence. *Rev Urol* 2002 Winter;4(1):49-50.