

Corriente galvánica

Dr. Jorge Luis Gonzalez Roig

La aplicación de corriente galvánica en el organismo produce determinados cambios fisiológicos, que podemos aprovechar desde el punto de vista terapéutico. Aunque su utilización es menos habitual que hace algunos años, ofrece metodologías específicas de tratamiento de determinados procesos, de interés en medicina física. En este capítulo analizaremos las características físicas y efectos fisicoquímicos de la corriente galvánica y su principal aplicación en la actualidad: la iontoforesis.

Las experiencias realizadas durante el siglo XVIII con electricidad obtenida por frotamiento ya comenzaron a mostrar su acción biológica. En 1791, Galvani publicó un opúsculo titulado *De viribus electricitatis in motu muscularis* (Sobre la acción de la electricidad en el movimiento muscular), en el que sostenía que los seres vivos eran productores de electricidad. Volta, analizando las experiencias de Galvani, intuyó la posibilidad de producir electricidad por medios químicos; en 1800, construyó la primera pila eléctrica mediante la aplicación –de ahí el origen del nombre– de disco de cobre y cinc superpuesto, separando cada par con un fieltro empapado de agua acidulada. A la corriente continua así obtenida, Volta le puso el nombre de corriente galvánica, en honor a aquel investigador, pero acunando algo en lo que Galvani no creyó: la producción química de la energía eléctrica.

De modo inmediato a los descubrimientos de Volta y Galvani comenzaron, ya durante el siglo XVIII, las aplicaciones médicas de la corriente galvánica. Durante el siglo XIX, el descubrimiento del fenómeno de la inducción por Faraday introdujo en terapéutica el primer tipo de corrientes variables, bautizado, por su descubridor, con el nombre de corrientes farádicas. Finalmente, el descubrimiento y la aplicación terapéutica, ya en siglo XX, de las corrientes variables de alta frecuencia (diatermia, onda corta, radar, ondas decimétricas), de características físicas y biofísicas muy distintas a las bajas frecuencias, han ampliado enormemente este campo de la electroterapia.

CORRIENTE GALVÁNICA

Características físicas

Corriente continua es aquella cuya dirección es constante. En ella, el flujo de cargas se realiza en el mismo sentido: del polo negativo al positivo para las cargas negativas, o del positivo al negativo si consideramos el flujo de cargas positivas. En las aplicaciones médicas, utilizamos un tipo de corriente que, además de continua, es ininterrumpida y de intensidad constante. A esta corriente se la denomina *galvánica*. En cuanto a sus características físicas, la corriente galvánica es de baja tensión (60-80 V) y baja intensidad, como máximo 200 mA. Se le denomina también constante, porque mantiene su intensidad fija durante el tiempo de aplicación.

En la aplicación de la corriente galvánica se distingue la *fase de cierre* del circuito, en que la corriente aumenta su intensidad de modo más o menos brusco, hasta alcanzar la

previamente establecida; la *fase o estado*, estacionaria, de intensidad constante, que constituye la auténtica corriente galvánica, y la de apertura del circuito, al final de la aplicación, en la que la intensidad de la corriente desciende a cero (fig.11.1).

Existen dos formas fundamentales de producción de corriente galvánica: mediante la utilización de pilas o baterías recargables, o mediante la rectificación de la corriente alterna de la red. Los aparatos portátiles de corriente galvánica emplean habitualmente las pilas como fuente de alimentación, o utilizan las baterías recargables, por su economía. En ellos, la aplicación de la corriente que sale de la fuente es directa al circuito. Si se utiliza la corriente alterna de la red, hay que proceder previamente a rectificarla. En la actualidad, se emplean rectificadores de semiconductores y, con más frecuencia, rectificadores de selenio.

Los *generadores de corriente galvánica* tienen dos terminaciones o polos: uno se denomina polo positivo y el otro polo negativo. En los aparatos utilizados en terapéutica, vienen diferenciados por colores (rojo el positivo o ánodo, y negro el negativo o cátodo) y el conmutador de polaridad tiene tres posiciones: + la derivación roja es positiva con respecto a la negra; – la derivación roja es negativa con respecto a la negra; 0 no se suministra corriente. Por definición, el estimulador de corriente directa continua no tiene pulsos y, por consiguiente, no tiene formas de onda o parámetros de pulso. El cierre y la apertura del circuito se realizan manualmente, con un conmutador *on/off*. Existen aparatos más sofisticados, informatizados, en los cuales pueden preestablecerse los intervalos de tiempo de interrupción, arranque y reversión de la polaridad, antes de iniciar la aplicación.

Efectos biofísicos

El flujo de corriente eléctrica a través de un medio biológico conductor origina tres efectos básicos: electrotermal, electroquímico y electrofísico. Teóricamente, cada vez que la corriente fluye por el organismo se producen los tres efectos.

EFEECTO ELECTROTHERMAL

El movimiento de las partículas cargadas en un medio conductor produce microvibración de dichas partículas. Esta vibración y las fuerzas friccionales asociadas originan la producción de calor. A su paso por el organismo, la corriente galvánica provoca, sólo en muy pequeña proporción, la aparición de calor. La cantidad de calor producido se describe por la ley de Joule:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

donde Q es la cantidad de calor en calorías, R es la resistencia de la zona atravesada, I es la intensidad de la corriente y t es el tiempo de paso de la corriente en segundos.

Esta pequeña elevación de la temperatura, entre 2 y 3 grados especialmente debajo de los polos, tiene escasa aplicación práctica.

EFECTO ELECTROQUÍMICO

En su estado puro (destilado), el agua no conduce la corriente eléctrica. Sin embargo, cuando se disuelven sustancias ionizables (como ácidos, bases, sales...), éstas se disocian en iones. Las soluciones resultantes, llamadas *electrólitos*, son capaces de conducir una corriente eléctrica en virtud de la migración de los iones disociados. El fenómeno de la conducción de carga eléctrica a través de los electrólitos recibe el nombre de *electrólisis*, que tiene lugar si el campo eléctrico tiene siempre el mismo sentido.

Su estudio se realiza en un recipiente denominado cuba electrolítica o voltámetro, en el que se deposita el electrólito y se introducen dos electrodos, entre los cuales se establece una diferencia de potencial eléctrico, unidireccional y constante a lo largo del tiempo (corriente galvánica). Por acción del campo eléctrico, los iones de la disolución migran hacia los electrodos. Los iones positivos lo hacen hacia el negativo o cátodo y, por ello, se denominan *cationes*. Los negativos lo hacen hacia el positivo o ánodo, por lo que se denominan *aniones*. Se produce, así, una acumulación de iones alrededor de cada electrodo formando una nube de carga eléctrica, de polaridad opuesta a la del electrodo, que tiende a neutralizar su efecto.

En el cátodo aparece siempre un metal o hidrógeno, porque la molécula del electrólito se descompone en dos partes: una constituida por el metal de la sal o de la base, o por el hidrógeno del ácido, y la otra por el resto de la molécula. Por ejemplo, el NaCl se descompone en sodio (Na^+) y (Cl^-).

Cualquiera que sea el electrólito empleado, se comprueba que los productos de descomposición de la electrólisis aparecen siempre en los electrodos y nunca en el propio líquido. Los iones alejados de la nube de carga experimentan una reducción del gradiente de potencial, y su migración es más lenta. Este fenómeno se conoce con el nombre de *polarización del electrodo*; se observa, sobre todo, con electrodos de metal inerte, como los de platino.

Los cambios químicos ocurridos durante una reacción electrolítica se rigen por las *leyes cuantitativas o de Faraday* (fig.11.2).

La primera ley establece que, para una solución dada, la cantidad de material depositado (o liberado) sobre los electrodos es directamente proporcional a la cantidad total de electricidad que pasa a través de la solución electrolítica. Así pues, la cantidad de reacción química es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la solución electrolítica.

La segunda ley establece que si, por distintas cubas electrolíticas que contienen diferentes electrólitos, se hace pasar la misma cantidad de electricidad, en los electrodos se depositan cantidades de sustancia en proporción directa a sus equivalentes químicos. Por lo tanto, la cantidad de diferentes electrólitos liberados por una cantidad dada de carga eléctrica suministrada es proporcional a sus pesos equivalentes. De este modo, es probable que la electrólisis celular afecte más a los iones calcio que al sodio o al potasio.

El comportamiento fisicoquímico del cuerpo humano, compuesto en más del 80% por agua y electrólitos, al paso de la corriente eléctrica es similar al de una disolución de cloruro sódico, iones ambos que se dan más abundantemente que cualesquiera otros en el organismo. Si una molécula neutra de ClNa se introduce en agua, se disocia en un ion Cl^- y otro Na^+ : el primero, con un electrón más del que corresponde a la estructura del cloro atómico, y el segundo, con un electrón menos del correspondiente al Na atómico, pero ambos elementos adoptan esta disposición por tener así completas sus órbitas externas y encontrarse en un estado de máxima estabilidad química (fig. 11.3).

Si a un conductor electrolítico, como el que constituyen todos los líquidos intersticiales y corporales, se aplica un potencial eléctrico, se produce una disociación electrolítica: los iones con carga positiva se desplazan hacia el cátodo y los de carga negativa, hacia el ánodo. Los electrones circulan del cátodo al ánodo; el cátodo es una fuente de electrones en el interior de la disolución electrolítica, mientras que el ánodo actúa como un absorbente de electrones.

Cuando se hace pasar la corriente directa, el Cl^- se desplaza hacia el ánodo (anión) y el Na^+ hacia el cátodo (catión). Al llegar al ánodo, el Cl^- deposita su electrón de exceso y recupera su estructura electrónica normal, mientras que el Na^+ toma un electrón del cátodo, y recupera también su estructura electrónica normal.

En el ánodo, el Cl^- se convierte en cloro atómico, pero, al ser muy inestable, reacciona con el agua de los tejidos de la siguiente forma:



Así pues, en el electrodo positivo se produce liberación de ácido clorhídrico, es decir, una reacción ácida, que puede llegar a producir una quemadura ácida por coagulación de las proteínas de los tejidos. El HCl puede reaccionar con el electrodo produciendo sales (cloruros) metálicas. Por su parte, el oxígeno es capaz de reaccionar con tejidos y electrodos produciendo óxidos metálicos.

En el cátodo, el Na^+ recupera su estructura atómica y se convierte en sodio metálico, que reacciona intensamente con el agua:



En el electrodo negativo, se produce liberación de hidróxido sódico, que puede provocar una quemadura por álcalis y licuefacción tisular con liberación de hidrógeno.

Por otra parte, los electrodos no sólo tienen la propiedad de atraer los iones de signo contrario: también rechazan los iones del mismo signo. Este efecto de rechazo es la base de la iontoforesis, que luego explicaremos: paso y transporte de iones a través de la piel por medio de una corriente galvánica.

Cuando las reacciones químicas inducidas por la corriente galvánica no son excesivas ni lesivas, la respuesta normal del organismo es aumentar el flujo sanguíneo local para restaurar el pH tisular normal. Los cambios químicos que sobrepasan la capacidad del organismo para contrarrestarlos y restablecer el estado de equilibrio originarán ampollas o incluso quemaduras químicas del tejido estimulado. Estos riesgos se minimizan disminuyendo la amplitud de la corriente, acortando el tiempo de tratamiento o revirtiendo la polaridad cada pocos segundos o minutos.

La ausencia de efectos químicos apreciables en los tejidos no indica que no se produzcan cambios electroquímicos celulares. Realmente, el origen del proceso electrolítico tiene en cada célula, pero los cambios son tan pequeños y transitorios que su significación clínica no había sido referenciada hasta hace poco tiempo. Se ha propuesto, específicamente, que la reacción electroquímica sucede en la membrana mitocondrial entre la adenosintrifosfatasa (ATPasa) y el adenosindifosfato (ADP), lo que origina la formación de ATP. También se ha demostrado la síntesis de ADN por la corriente eléctrica, pero la reacción química asociada no se ha aclarado. Igualmente se ha demostrado la facilitación de la actividad enzimática de la succinato deshidrogenasa y de la ATPasa. No está claro que esta facilitación enzimática sea provocada electroquímicamente. Estos cambios celulares electroquímicos se han demostrado tanto con el uso de corriente galvánica como con corriente pulsada monofásica.

EFTOS ELECTROFÍSICOS

Los efectos electrofísicos, a diferencia de los electroquímicos, no ocasionan cambios en la configuración molecular de los iones. En el organismo existen moléculas cargadas eléctricamente (proteínas, lipoproteínas...), que, con el paso de la corriente galvánica, pueden migrar hacia uno de los polos, sin que la corriente produzca ningún cambio en la configuración molecular. La principal consecuencia de este movimiento iónico es la excitación de nervios periféricos, donde, en presencias de una carga adecuada, el sodio y el potasio se mueven a través de la membrana celular. Estos efectos celulares directos pueden originar muchas respuestas indirectas distintas, como contracciones de musculatura lisa o esquelética, activación de mecanismos analgésicos endógenos y respuestas vasculares.

La *cataforesis* consiste en partículas cargadas positivamente, que se desplazan hacia el polo negativo o cátodo (situación más habitual). La *anaforesis*; por su parte, son partículas cargadas negativamente, que se desplazan hacia el polo positivo o ánodo. El conjunto de cataforesis y anaforesis constituye la *electroforesis*.

Acciones fisiológicas de la corriente galvánica

Tradicionalmente, la corriente galvánica presenta, en su aplicación terapéutica, dos efectos característicos, denominados efectos polares (los que se producen debajo de los electrodos) y efectos interpolares (los que se producen en el interior del organismo, en el segmento orgánico situado entre los dos polos).

Las respuestas fisiológicas directas principales derivadas de la estimulación galvánica son los cambios electroquímicos, que tienen lugar en las células y en los tejidos. Debido al flujo

prolongado de la corriente galvánica, la amplitud de corriente debe ser extremadamente baja y, por consiguiente, el efecto directo va a limitarse a los tejidos superficiales (piel, fundamentalmente).

A) EFECTOS POLARES

Como resumen de los efectos polares o acciones ejercidas por cada electrodo de la corriente galvánica, podemos indicar los que se muestran en la tabla 11.1.

Las acciones polares de la corriente galvánica van a tener sus aplicaciones en la electrólisis médica, en la destrucción de pequeños tumores cutáneos y en la depilación eléctrica, en caso de hipertriosis.

El conocimiento de los efectos polares de la electrólisis tiene una gran importancia, ya que nos permite comprender las quemaduras químicas que pueden aparecer durante los tratamientos y que son su principal peligro.

De la electrólisis se deduce la principal aplicación terapéutica de la corriente galvánica, que es la iontoforesis.

Tabla 11.1. Efectos polares de la corriente galvánica

Ánodo (polo positivo)	Cátodo (polo negativo)
Reacción ácida	Reacción alcalina
Oxidación	Reducción
Quemadura tipo ácido	Quemadura tipo alcalino
Coagulación	Licuefacción
Liberación de O ₂	Liberación de H ₂
Rechazo de iones positivos	Rechazo de iones negativos
Acción sedante	Acción excitadora

B) EFECTOS INTERPOLARES

Son los efectos que produce la corriente galvánica en el segmento orgánico interpuesto entre los polos, base de la *galvanización médica*.

Los efectos interpolares más importantes de la corriente galvánica derivan del desplazamiento iónico en el interior del organismo, causa de sus acciones fisiológicas al modificar el flujo iónico a través de las membranas celulares, al actuar directamente sobre los nervios, los vasos (con un potente estímulo de la circulación de la zona), las glándulas secretoras, etc.

ACCIÓN VASOMOTORA Y TRÓFICA

Cuando, sobre una región del cuerpo, aplicamos dos electrodos embebidos en agua salada, conectados uno al polo positivo y otro al polo negativo, y se hace pasar una corriente

continua durante 20 minutos con una intensidad adecuada –calculada en función de la superficie de los electrodos (en condiciones normales, se soporta sin molestias de 6 a 9 mA)–, el paciente va a referir, en primer lugar, una sensación de pinchazos y picores en la zona de los electrodos. La resistencia de la piel al paso de la corriente va disminuyendo gradualmente y el paciente, también de una manera gradual, tolera una mayor cantidad de electricidad; la sensación de pinchazos da paso a una sensación de agradable calor.

Cuando se retiran los electrodos, se aprecia un enrojecimiento marcado de la piel, localizado en la superficie recubierta por los electrodos. Esta coloración puede persistir de 10 minutos a media hora.

La hiperemia cutánea es debida al cambio del pH de la piel bajo los electrodos, lo que produce una vasodilatación que refleja y aumenta indirectamente el flujo sanguíneo arterial a la piel. Una característica de la hiperemia galvánica es la facilidad para reaparecer posteriormente, de una manera intensa, ante cualquier estímulo térmico. La hiperemia que se produce en el cátodo, generalmente, es más pronunciada y duradera que la del ánodo. La acción vasomotora que tiene lugar en la zona interpolada condiciona un efecto trófico, al mejorar la nutrición tisular, y un efecto analgésico y antiinflamatorio, al aumentar la resorción de metabolitos y disminuir el edema.

ACCIÓN SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO

Bajo el electrodo negativo, se produce un aumento de la excitabilidad nerviosa y una mayor rapidez de transmisión del impulso nervioso; el polo negativo tiene, por lo tanto, un efecto neuroestimulante. No obstante, a pesar de este aumento de la excitabilidad nerviosa que se produce bajo el polo negativo, respuestas excitadoras sobre el sistema neuromuscular sólo pueden provocarse si se interrumpe la corriente continua. La excitación afecta solamente a las fibras nerviosas muy superficiales y generalmente es dolorosa. Cuando el flujo de corriente es mayor de 500 microsegundos, como ocurre con la corriente galvánica, la excitación nerviosa es difícil de conseguir, al igual que la discriminación entre fibras sensitivas grandes, fibras motoras y fibras que conducen el dolor.

En la práctica, debido a la capacidad para rebajar el umbral de excitación del sistema neuromuscular, la corriente galvánica se utiliza como terapia previa a los tratamientos con corrientes variables, en los casos de parálisis periféricas.

Bajo el polo positivo, la corriente galvánica tiene un efecto hipostésico, sedante y analgésico, que se utilizará terapéuticamente. Aunque existen publicaciones clínicas que muestran la efectividad de la corriente galvánica en el alivio del dolor con o sin iontoforesis, no puede considerarse el tratamiento de primera elección. En estos casos, las corrientes pulsadas son más efectivas y más confortables para el paciente. No obstante, debe considerarse su utilización de primera elección, en los casos en que el dolor está provocado por estructuras superficiales.

GALVANONARCOSIS

Se ha demostrado esta acción en peces, renacuajos y animales que viven en medio líquido. Si en el medio líquido hacemos pasar una corriente galvánica en sentido cabeza-cola, el animal queda inmóvil, como paralizado (galvanonarcosis). Si la corriente circula en sentido contrario, el animal se excita y se mueve, hasta colocarse en la posición anterior y permanecer en fase de narcosis.

GALVANIZACIÓN. METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN

Equipos

Los aparatos para la aplicación de corriente galvánica deberán tener: una fuente de energía, un reóstato que permita variar su intensidad, un miliamperímetro que indique la intensidad de la corriente circulante en cada momento por el circuito y unos aplicadores. Para conectarlos, el aparato dispone de unas salidas con indicación de la polaridad positiva o negativa y, en ocasiones, de un inversor, de modo que, si éste no actúa, la polaridad de los aplicadores sea la indicada en el aparato y, si se hace funcionar, la inversa.

A estas salidas se conectan los cables que tienen en su extremo los electrodos para acoplar al enfermo. Dado que, para que la corriente galvánica realice su efecto terapéutico, el enfermo debe introducirse en el circuito eléctrico, los electrodos deben permitir la fácil entrada y salida de la corriente eléctrica en el organismo, atravesando la resistencia que opone la piel. Para ello se construyen en forma de láminas metálicas de estaño, recubiertas de una almohadilla plástica esponjosa que se humedece con agua caliente y se fija con gomas a la zona que hay que tratar. También pueden utilizarse para galvanización electrodos flexibles, como los utilizados en electroestimulación neuromuscular.

Otra forma muy adecuada de aplicar la corriente galvánica es sumergiendo la totalidad del individuo, o sólo la parte que vaya a tratarse, en agua, y colocando en su inmediata cercanía los electrodos. El agua, como es bien sabido, disminuye enormemente la resistencia eléctrica de la piel y favorece la penetración de la corriente. Esta disposición se denomina «baños galvánicos», los cuales pueden ser totales o parciales (fig. 11.4).

TEST DE COMPROBACIÓN DE POLARIDAD DE LOS ELECTRODOS

Cuando en un aparato de corriente galvánica no existe la seguridad absoluta de cuáles son los electrodos positivo y negativo, podemos recurrir al test de las burbujas, al de la fenolftaleína o al del yoduro potásico, que son de fácil realización. Con el test de las burbujas, si sumergimos los dos terminales de los electrodos de corriente continua en un recipiente con una disolución de cloruro sódico, veremos que en uno de ellos aparecen rápidamente numerosas burbujas gaseosas, mientras que en el otro se producen con más lentitud y en menor cantidad (fig. 11.5). Las más abundantes son de hidrógeno y dicho polo será el positivo. También puede aplicarse el test de la fenolftaleína; se toma papel de filtro, que se empapa con solución diluida de fenolftaleína, incolora, y se aplican los dos terminales del aparato. La solución virará al rojo en el polo negativo, al producirse allí una reacción de carácter básico. Finalmente, el test del yoduro potásico consiste en que, si se empapa un papel de filtro con solución de yoduro potásico azul oscuro en el polo positivo, debido a que el yodo en él liberado reacciona con el almidón del papel.

Antes de comenzar el tratamiento, es preciso asegurarse de que el aparato funciona correctamente. Ha de colocarse al paciente en una posición cómoda. La zona que hay que tratar ha de estar al descubierto. La piel debe lavarse con agua y jabón, para eliminar la secreción sebácea que actúa como aislante al aumentar la resistencia de la piel. Es preciso que la piel no presente erosiones, ya que disminuyen la resistencia dérmica al paso de la corriente y podrían producir quemaduras con facilidad. En caso de que hubiese zonas erosionadas, han de cubrirse con un esparadrapo.

ELECTRODOS

- Se seleccionarán el tamaño y la forma de los electrodos (cuadrados, rectangulares, circulares), según la zona que hay que tratar. El espesor oscila entre 0,4 y 1 mm.
- Los electrodos nunca se pondrán en contacto directo con la piel del paciente. Han de ir envueltos en gasa, algodón o spontex, y la envoltura debe sobresalir al menos 1 cm por cada lado del electrodo. Por otra parte, la cara de la funda que está en contacto con la piel ha de ser doble.
- Las fundas han de mojarse y, posteriormente, escurrirse en agua templada no destilada, para vencer la resistencia cutánea al paso de la corriente, al mismo tiempo que facilitamos la entrada de corriente de modo uniforme al organismo y protegemos la piel de posibles quemaduras por disociación iónica. Se prepararán los baños o cubetas, si la aplicación es indirecta.
- La zona que hay que tratar ha de quedar entre ambos electrodos. Según la situación de los electrodos, podremos realizar galvanización longitudinal o transversal (fig. 11.6). En la galvanización longitudinal, la corriente recorre la región de distal a proximal, o viceversa (p. ej., galvanización longitudinal de la columna vertebral: un electrodo en la región cervical y el otro en la región lumbar, galvanización de un músculo...). En la galvanización transversal, la corriente atraviesa transversalmente la zona, es decir, de delante hacia atrás o de dentro hacia fuera (p. ej., galvanización transversal de la columna lumbar; galvanización de una articulación: los electrodos se sitúan en la cara interna y externa de la articulación...).
- Los dos electrodos pueden ser de igual o diferente tamaño. Suele haber un electrodo pequeño excitador (cátodo) y otro electrodo indiferente, más grande, que disipa la corriente. Cuando deseemos obtener los efectos polares de la corriente galvánica, utilizaremos un electrodo activo de menor tamaño y otro de mayor tamaño indiferente, que cierre el circuito. Si lo que deseamos es obtener los efectos interpolares (galvanización), utilizaremos electrodos del mismo tamaño.
- Los electrodos han de fijarse de tal modo que queden bien sujetos a la zona que hay que tratar y perfectamente adaptados al contorno corporal. De este modo evitamos que se produzcan picos térmicos, que podrían provocar quemaduras. Para fijar los electrodos se utilizan cintas, que pueden ser de goma o de velero adhesivo.

DOSIFICACIÓN

La dosificación viene condicionada por:

- el tamaño de los electrodos,

- la intensidad de la corriente,
- el tiempo de aplicación y
- la tolerancia individual del paciente.

El tamaño de los electrodos, a su vez, depende del tamaño de la zona que hay que tratar. A mayor tamaño de electrodos, mayor intensidad, y viceversa. La intensidad de la corriente para electrodos pequeños oscila entre 1 y 5 mA/cm²; para electrodos grandes oscila entre 1 y 15 mA/cm². Se aconseja no sobrepasar los 12 mA; si necesitamos un efecto más intenso, es preferible prolongar el tiempo de aplicación. La intensidad irá subiendo de forma lenta. El tiempo de aplicación es de 10-15 minutos y, si es bien tolerada, puede llegarse hasta 30-40 minutos.

Las sesiones se realizan, habitualmente, en ciclos de 15, aunque pueden ampliarse. Una vez se concluye la aplicación, ha de disminuirse la intensidad lentamente. Se apaga el aparato y se retiran los electrodos. Una vez realizada la aplicación, el electrodo se retira del interior de su funda de spontex.

TÉCNICAS DE APLICACIÓN

Directa: los electrodos se aplican sobre la superficie corporal.

Indirecta: mediante cubetas o electrodo húmedo. Cuando se utiliza el agua como electrodo, se aplica por medio de baños totales o parciales. El tamaño del electrodo es igual a la superficie de piel que contacta con el agua.

El baño total es el llamado baño galvánico, en el que se introduce al paciente en una bañera que lleva incorporados numerosos electrodos. Éstos permiten escoger la zona de paso de corriente a través del cuerpo o hacer un tratamiento general. Al utilizar agua, podemos alcanzar dosificaciones más altas (15-20 mA).

Para la aplicación del baño parcial, se utilizan cubetas de material no conductor, con tamaño y forma variables, adecuados al miembro que hay que tratar. Se llena de agua caliente (32-36 °C) la cubeta en la cual el paciente introduce la zona que hay que tratar. Se disuelve una pequeña cantidad de cloruro sódico para mejorar la conductibilidad. Situamos un electrodo en el interior de la cubeta, que se coloca detrás de una tablilla de madera agujereada, con el fin de que pase la corriente y –a la vez– proteger al paciente (fig. 11.7).

Indicaciones terapéuticas y precauciones de la estimulación galvánica

Muchas de las indicaciones de la corriente galvánica han perdido vigencia en la actualidad y se han sustituido por otras modalidades de corrientes estimulantes. No obstante, las indicaciones terapéuticas de la estimulación galvánica están condicionadas por sus efectos fisiológicos:

- Acción hiperhemiante y trófica.
- Acción analgésica y antiespasmódica.
- Acción sedante.

- Aumento de la excitabilidad neuromuscular.

Las principales indicaciones terapéuticas son:

- Activación de la cicatrización de heridas. Se utiliza para tratar úlceras dérmicas poco irrigadas; permite una cicatrización acelerada.
- Activación de la cicatrización de fracturas, en la que existe retardo en la consolidación.
- Como terapia previa a los tratamientos con corrientes variables, en los casos de parálisis periféricas, debido al aumento de excitabilidad neuromuscular.
- Por su efecto analgésico en neuritis, neuralgias, mialgias...

Precauciones

El accidente más habitual es la quemadura cutánea y, generalmente, es ocasionado por:

- Mal contacto de los electrodos con la zona que hay que tratar, lo que origina la concentración de corriente en un punto.
- Galvanización de piel con heridas o erosiones sin protección. También en pieles atróficas, debido al envejecimiento o a inmovilizaciones prolongadas con yesos.
- Galvanización sobre zonas de anestesia cutánea.
- Galvanización en extremidades isquémicas.

Las quemaduras, normalmente, no son de importancia y se curan en poco tiempo con un tratamiento adecuado.

IONTOFORESIS

La iontoforesis consiste en la introducción en la epidermis y mucosas de iones fisiológicamente activos, aplicados tópicamente, mediante la corriente galvánica.

La iontoforesis se utiliza desde hace más de medio siglo, aunque su uso ya aparece mencionado a finales del siglo XVIII y XIX. Aunque actualmente no es de las técnicas más utilizadas en medicina física, la iontoforesis está indicada en el tratamiento del edema, úlceras isquémicas, dolor muscular, enfermedad de Peyronie, hiperhidrosis, artritis, infecciones fúngicas, bursitis y tendinitis.

Actualmente existen aparatos diseñados específicamente para la aplicación exclusiva de iontoforesis. El tratamiento no es la corriente directa, sino los iones introducidos. Existe una larga lista de iones disponibles para su aplicación en un amplio espectro de situaciones patológicas.

Diversos experimentos han sido decisivos en el conocimiento y el uso de la iontoforesis. Es clásico el de Chatzky (fig. 11.8), que muestra la emigración de iones yoduro a través de los tejidos vegetales. Se toma una patata y se realiza una cavidad, que se rellena con yoduro potásico. Se insertan en ella dos electrodos: uno se conecta al polo positivo de la corriente galvánica y otro, al negativo. Al poco tiempo de cerrado el circuito, se aprecia la aparición

de un color azul oscuro en torno al terminal positivo. La explicación es que a partir de la cavidad, los aniones Γ han emigrado al polo positivo, mientras que los cationes K^+ lo han hecho al polo negativo. Pero mientras que la llegada de éstos al cátodo no determina ninguna reacción coloreada especial, la llegada de Γ al ánodo y su conversión en I no ionizado motivan su reacción con el almidón de la patata y la aparición de un color azulado, característico de esta reacción. Así se comprueba que es posible la emigración de algunos iones a través de los tejidos vegetales.

Otra experiencia muestra el paso de iones a través de tejidos animales. En la experiencia de Labatut (fig. 11.9), se coloca en el centro de un recipiente rectangular una masa grande de carne, que ajuste perfectamente por dos de sus lados, de modo que queden en el recipiente dos cavidades, anterior y posterior, no comunicadas entre sí; éstas se rellenan con una solución de cloruro de litio al 5%. En cada una de ellas se introduce uno de los electrodos de la corriente galvánica y se deja pasar la corriente durante algún tiempo. Se extrae la carne de la cubera, se divide en secciones paralelas a las cavidades y se dosifica el litio que ha quedado en la solución, así como el existente en las secciones de carne. De este modo puede comprobarse que el 60 % del litio ha pasado a la carne, pero no de forma uniforme: la mayoría se encuentra en la sección adjunta a la cubeta que tenía el electrodo positivo; algo permanece en la segunda capa adyacente a esta primera, y nada se encuentra en las restantes capas, ni siquiera en la inmediata a la cubeta donde está conectado el polo negativo. Así se demuestra que el único mecanismo de penetración del litio en la masa de carne se debe al rechazo de iones del mismo signo por parte de la corriente eléctrica, porque, de haber intervenido otro mecanismo físico, se habría apreciado el efecto, en alguna medida, en la parte de carne que está adjunta a la cubeta donde se introduce el cátodo.

Si la experiencia de Labatut muestra cómo los iones también pueden penetrar en los tejidos animales, la experiencia de Leduc (fig. 11.10) muestra cómo se hacen penetrar iones en los animales vivos por medio de la corriente eléctrica. Para ello, y en un circuito de corriente continua, se colocan en serie dos conejos, A y B, conectados en la forma indicada en la figura y con los electrodos impregnados de las soluciones indicadas: para el conejo A, cloruro sódico en el ánodo y sulfato de estriquina en el cátodo; para el conejo B, cianuro potásico en el ánodo y cloruro sódico en el cátodo. Tanto la estriquina como el cianuro son venenos potentes, que producen la muerte con cuadros típicos y diferenciados uno del otro. Pues bien, si cerramos el circuito, podemos comprobar que ambos venenos no ejercen su acción sobre los conejos, porque los iones que penetran en los conejos son, en el A, ion sodio a partir de ánodo e ion sulfato a partir del cátodo y, en el B, ion potasio a partir del ánodo e ion cloro a partir del cátodo. Sin embargo, basta invertir la polaridad de la corriente para que ambos conejos mueran de forma típica debido a la intoxicación estriquinica, el primero, y de la debida a la intoxicación por cianuro, el segundo, ya que, a causa del cambio de polaridad, ambos iones han penetrado ahora en los animales: el estriquinico, a partir del ánodo, en el primer conejo; el cianuro, a partir del cátodo, en el segundo conejo.

Estas experiencias demostraron, de forma dramática, la capacidad de introducir iones en seres vivos por la corriente eléctrica, en cantidad suficiente para producir efectos patológicos y, también, por tanto, para conseguir efectos terapéuticos con la introducción de medicamentos.

Fundamentos físicos de iontoforesis

Con el nombre de iontoforesis se conoce la propiedad de la corriente galvánica de introducir en el organismo iones colocados en el electrodo de su misma polaridad. Al contrario que en la electrólisis –donde cada electrodo atrae los iones de signo contrario–, la iontoforesis se basa en la migración o transferencia iónica provocada por la corriente continua, que hace que los iones del polo de igual signo se repelan y migren hacia el polo de signo opuesto. Así, los iones cargados con valencia positiva o negativa son repelidos dentro de la piel por una carga idéntica del electrodo colocado sobre la piel. La selección de la polaridad correcta del electrodo activo será, por lo tanto, muy importante.

La corriente de elección para la transferencia iónica es la corriente galvánica (continua, unidireccional), obtenida a partir de generadores de bajo voltaje o de baterías. Con este tipo de corriente se asegura la máxima transferencia de ion por unidad de superficie. La posibilidad de transferencia iónica con otro tipo de corriente (p. ej., alto voltaje convencional) no es posible.

Sobre los iones de una solución electrolítica actúa una fuerza electromotriz movilizándolo a través de la superficie corporal. Esta fuerza depende de la fuerza del campo eléctrico y de la impedancia o resistencia de los tejidos al flujo de la corriente. Los tejidos corporales, especialmente la piel y mucosas, tienen una tolerancia limitada al paso de la corriente, esta resistencia de la piel al flujo de corriente puede compensarse con una adecuada densidad de corriente; la de la interfase electrodo-piel es la responsable de la velocidad con que los iones se difunden en el cuerpo. Aunque los efectos electroquímicos raramente alcanzan más allá de 1 mm de la superficie del electrodo, los efectos químicos de los iones introducidos tienen un efecto más profundo por la acción de los capilares y por la conductancia biofísica de la corriente.

Efectos fisiológicos de iontoforesis

Los efectos fisiológicos de la transferencia iónica dependen del ion seleccionado para el tratamiento. La efectividad del ion específico dependerá: del número de iones transferidos, de la profundidad de penetración, de la combinación química de los iones con otras moléculas en la piel y del paso de los iones a los capilares y, por lo tanto, al torrente circulatorio, donde tendrá un efecto sistémico.

Los iones atraviesan la piel penetrando a través de los orificios de las glándulas sudoríparas, sebáceas y folículos pilosos, que son áreas de impedancia disminuida. La penetración es, generalmente, menor de 1 mm; la absorción más profunda se produce mediante la circulación capilar y el transporte transmembrana. Una vez traspasada la epidermis, los iones depositados se localizan en el lugar del electrodo activo, donde se almacenan como componentes solubles o insolubles y actúan localmente. La mayoría de los iones difunden a la dermis, para posteriormente penetrar en los capilares y llegar al torrente sanguíneo, desde donde se extienden al resto del organismo, en concentraciones generalmente muy pequeñas. De este modo, ciertas sustancias irritantes sobre la mucosa

gástrica, como la hidrocortisona o los salicilatos, pueden introducirse localmente con pocos efectos adversos sobre la mucosa gástrica.

La mayoría de las sustancias utilizadas son elementos básicos, además de varios radicales de valor fisiológico. Al actuar localmente, se precisan concentraciones de iones muy bajas, para conseguir eficacia en su administración.

Mediante iontoforesis, es difícil determinar la cantidad exacta de fármaco introducido. No obstante, el número de iones transferidos es directamente proporcional a la densidad de corriente, a la duración del paso de corriente y a la concentración de iones en la solución. Así pues, el número de iones transferidos es proporcional a la raíz cúbica del producto de la densidad de corriente y la duración del paso de corriente o tiempo de aplicación. Por consiguiente, cuanto más tiempo se aplica una corriente, mayor es el número de iones transferido. Así, una intensidad de 10 mA durante 1 minuto transferirá la misma cantidad de iones que 1 mA durante 10 minutos. En cuanto a la concentración de iones, diversos experimentos han demostrado que las concentraciones mayores del 1-2% no son más efectivas que las concentraciones menores.

La densidad de corriente puede incrementarse aumentando la intensidad de la corriente o disminuyendo el tamaño del electrodo.

Ha de tenerse en cuenta que, para aplicaciones de iontoforesis, la piel normal no tolera densidades de corriente superiores a 1 mA/cm^2 y que, conforme aumenta la duración de la aplicación, la impedancia de la piel disminuye, lo que incrementa el riesgo de producción de quemaduras químicas por debajo de los electrodos. Es preciso tener en cuenta, además, que la impedancia de la piel es incluso más baja en áreas donde esté lacerada o con cicatrices, y en individuos de piel clara. Las reacciones electroquímicas bajo los electrodos pueden disminuirse reduciendo la densidad de corriente bajo el cátodo. Esto se consigue aumentando el tamaño de los electrodos o disminuyendo la amplitud de la corriente.

Indicaciones de la iontoforesis

Los resultados terapéuticos de iontoforesis dependen del ion introducido y de la patología presente. Por lo tanto, no existe una indicación concreta de la iontoforesis; la referencia debe estar en el ion seleccionado administrado mediante esta vía. Del mismo modo, las contraindicaciones vienen dadas por el ion seleccionado, basadas en la sensibilidad y la alergia del paciente y en los factores agravantes en casos específicos.

Existen diversas situaciones clínicas que pueden ser tratadas eficazmente con iontoforesis. Las principales indicaciones son: afecciones inflamatorias musculoesqueléticas agudas (tendinitis, bursitis, miositis, artritis, estiramientos musculares, síndrome del túnel carpiano), hiperhidrosis idiopática, adherencias y cicatrices. La selección del ion apropiado está en función de la afección que hay que tratar.

Selección del ion apropiado

En iontoforesis se han utilizado numerosos iones. Haremos una revisión de los más utilizados, basándonos sobre todo en una exhaustiva revisión bibliográfica.

Los iones y su relación con las diferentes situaciones patológicas se enumeran en la tabla 11.2.

- *Ácido acético*. En solución del 2-5%, aplicado en el polo negativo. Dosis de 5 mA con sesiones de 20-30 minutos. Se utiliza en el tratamiento de tendinitis calcificada y miositis osificantes.
- *Aconitina*. Solución de nitrato de aconitina al 0,25%, aplicada en el polo positivo. Posee una acción antiálgica potente. Utilizada en neuralgias intensas, como la del trigémino. Se emplea un electrodo especial. Precisa un seguimiento muy estrecho, debido a la alta toxicidad del producto y a su acción irritante sobre la piel.
- *Alfaquimiotripsina*. En solución al 1%, aplicada en el polo positivo. Presenta una acción antiedematosa y antiinflamatoria. Se utiliza en contusiones y esguinces.
- *Anestésicos locales*. Procaína o novocaína en solución al 1%, aplicada en el polo positivo. Se emplea como agente anestésico y analgésico en bursitis, neuralgias, contusiones, herpes zóster.

Las publicaciones que refieren el uso de anestésicos locales mediante iontoforesis, sustituyendo a la infiltración, son abundantes, sobre todo en estomatología, otorrinolaringología y oftalmología. Se utilizan anestésicos mediante iontoforesis para:

- anestesia para extracciones dentarias,
- anestesia local en cirugía de la conjuntiva y
- anestesia del conducto auditivo externo y membrana timpánica, previa a miringotomía o colocación de tubos de ventilación en otitis media.

Estudios controlados doble ciego, en los que se compara la duración y profundidad de la anestesia producida por lidocaína y suero fisiológico –o placebo, cuando se administra por iontoforesis–, infiltración subcutánea o aplicación tópica, muestran que la lidocaína en iontoforesis es un método eficaz para conseguir anestesia local durante 5 minutos, sin requerir el uso de infiltración.

- *Antiinflamatorios no esteroideos*. Gel de ketoprofeno o de fenilbutazona en el polo negativo, con intensidad débil, entre 1 y 5 mA durante 45 minutos, con muy buenos resultados en el síndrome del túnel carpiano en sustitución de las infiltraciones.
- *Antiinflamatorios esteroideos*. Hidrocortisona o succinato de prednisolona en solución al 1%, aplicados en el polo negativo, con una densidad de 0,5 mA/cm² en sesiones de 15-20 minutos. Por su efecto antiinflamatorio, se utilizan en todas las afecciones inflamatorias musculoesqueléticas, especialmente en afecciones pararticulares, como epicondilitis, tendinitis, bursitis y, también, enfermedad de Dupuytren.

Muchas publicaciones, sobre todo norteamericanas, muestran los excelentes resultados de la iontoforesis utilizando la dexametasona mezclada con lidocaína, en proporciones 5 ml/1 ml, en afecciones inflamatorias agudas, como bursitis, epicondilitis, síndrome de túnel carpiano... Se introducen en polo negativo; se comienza con 1 mA y se aumenta

gradualmente hasta 4 mA, dosis que se mantiene durante 10 minutos, 3 veces por semana, durante 6 sesiones.

- *Cloruro sódico*. En solución al 2%, aplicado en el polo negativo. Utilizado como agente esclerolítico, fibrinolítico en cicatrices fibrosas, queloides y adherencias. En cicatrices queloides se precisa una fuerte intensidad, entre 15 y 20 mA, en sesiones de media hora, con muchos días de tratamiento. También se utiliza cada vez más en la enfermedad de Dupuytren tras cirugía.
- *Cloruro cálcico*. En solución al 1%, aplicado en el polo positivo. Se utiliza por su efecto analgésico, sedante y anticontracturante.
- *Hialuronidasa*. 150 U en 250 cc de una solución buffer 0,1 M (acetato de sodio 11,42 g; ácido acético glacial 0,923 cc; agua destilada 1000 cc). La hialuronidasa se añade extemporáneamente a la solución. Se aplica en el polo positivo. Está indicada en el tratamiento del linfedema crónico, tromboflebitis y linfangitis.
- *Yoduro potásico*. En solución al 1%, se aplica en el polo negativo; tiene un efecto fibrinolítico. Es utilizado en cicatrices queloides y adherencias.
- *Mucopolisacáridos (thiomucase y alphamucase)*. Se utilizan en crema, en el polo negativo, con electrodos muy amplios. Se utilizan en la resolución de los hematomas, linfedemas y, sobre todo, lipodistrofias.
- *Oxido de cinc*. En unguento al 0,1 M, aplicado en el polo positivo. Efecto antiséptico utilizado en las úlceras isquémicas.
- *Salicilato sódico*. En solución al 1%, aplicado en el polo negativo. Se utiliza por su efecto antiinflamatorio y analgésico en mialgias y en artritis reumatoide.
- *Sulfato de cobre*. En solución al 2%, en un recipiente con el polo positivo en su fondo. El electrodo negativo se aplica en la raíz del miembro. Efecto antimicótico, utilizado en la tiña pedis.
- *Sulfato de magnesio o cloruro de magnesio*. En solución al 25%, aplicado en el polo positivo. Se utiliza en el tratamiento de las verrugas planas de las manos. El sulfato de magnesio también se utiliza por su efecto relajante muscular y vasodilatador.

Son muchos los autores que muestran la utilidad de la iontoforesis en el control de la *hiperhidrosis idiopática* severa de manos y pies; el agua del grifo es el electrólito más utilizado.

Las manos y los pies del paciente se colocan en bateas poco profundas, con agua suficiente para cubrir las palmas de las manos y planta de los pies sin que cubra las uñas. Se colocan sobre el fondo de la batea electrodos de láminas de metal (estaño o aluminio). Se utilizan intensidades elevadas, entre 15 y 25 mA, que se mantendrán siempre por debajo del umbral del dolor; la mayoría de los autores alternan la polaridad (15 minutos positivo, seguido de 15 minutos negativo) durante la sesión.

Existen en la literatura muchas otras sustancias que se han utilizado con buenos resultados mediante iontoforesis. Actualmente existe una mayor tendencia a utilizar infiltraciones en las que las dosis pueden controlarse mejor. Por esta razón, muchas de estas sustancias que han demostrado su efectividad, en la actualidad, prácticamente no se utilizan. Ejemplos de este caso son la histamina y el mecolil, utilizados para producir vasodilatación superficial.

Precauciones

No se aconseja utilizar dos sustancias bajo el mismo electrodo, aunque sean de la misma polaridad. La repulsión mutua puede disminuir la penetración. Excepciones posibles a esto son el uso del yodo con el metilsalicilato: en este caso, el yodo y el radical salicilato están unidos en una matriz común.

No es aconsejable administrar iones con polaridades opuestas durante la misma sesión de tratamiento. El segundo ion administrado tiende a revertir los depósitos iniciales y puede provocar una síntesis de iones posiblemente antagónicos. Cuando se desee obtener los efectos de ambos iones se aconseja utilizar cada uno en días alternos.

Metodología e instrumentación de la iontoforesis

Para realizar tratamientos con iontoforesis, se precisa un generador de corriente continua, con tensiones comprendidas entre 100 y 150 voltios e intensidad no inferior a los 10 mA. Los polos han de estar claramente diferenciados por el color y, en caso de duda, se comprobará la polaridad.

Denominamos electrodo activo al que introduce el medicamento e indiferente, al otro. El medicamento se colocará siempre debajo del electrodo activo. El tamaño del electrodo ha de estar adaptado al tamaño de la superficie que hay que tratar y la tendencia actual es localizar lo máximo posible la zona que hay que tratar.

IMPORTANCIA DEL ELECTRODO NEGATIVO AMPLIO

La reacción alcalina que tiene lugar bajo el cátodo (formación de hidróxido sódico, alta concentración de iones H y relativa rapidez de las reacciones) es mucho más cáustica para la piel que la reacción ácida que tiene lugar en el ánodo. Para minimizar la posibilidad de destrucción tisular y evitar irritación y posibles quemaduras bajo el cátodo, debe disminuirse la densidad de corriente (A/cm^2) en el electrodo negativo. Esto puede hacerse aumentando el tamaño del electrodo negativo, incluso si éste es el electrodo activo.

Aumentando la superficie del área del cátodo, disminuimos la densidad de corriente debajo del cátodo y consiguientemente, la magnitud de la reacción alcalina en el tejido corporal. Una regla práctica para seguir en iontoforesis es que la superficie del cátodo sea al menos dos veces la del ánodo. Esta relación debería seguirse no sólo cuando el cátodo sea el electrodo «activo», sino también cuando actúe de electrodo «dispersivo o inactivo».

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es el efecto anestésico de la corriente galvánica sobre la piel subyacente a los electrodos. Debido a este efecto, es probable que el paciente no note el desarrollo de una quemadura eléctrica hasta después de concluir el tratamiento.

- Antes de cada aplicación, se limpiará cuidadosamente la piel con agua templada.
- Una vez seleccionado el ion adecuado y los electrodos, podemos aplicar el medicamento en forma de solución, empapando un material absorbente, o en forma de pomada o gel, que se deposita sobre la piel masajeando. Las soluciones

medicamentosas se harán con agua destilada, para evitar iones parásitos. La zona se cubre, posteriormente, con una compresa humedecida con agua del grifo templada o solución iónica, y plegada sin formar arrugas.

- El metal del electrodo activo (bloque de estaño precortado, hoja de aluminio, electrodo comercial de metal) se coloca por encima de la compresa, de modo que sea ligeramente más pequeño que la compresa, para evitar que el metal contacte con la piel y cause una quemadura química. El buen contacto entre electrodo-compresa y compresa-piel es esencial para evitar zonas de densidad de corriente aumentada, lo que ocasionaría quemaduras.

El sistema más moderno de electrodos consiste en la utilización de un receptáculo de plástico, que se llena, mediante una aguja hipodérmica, con la sustancia que hay que utilizar. La cara en contacto con la piel está constituida por una membrana permeable al paso de iones. La cara opuesta lleva un pequeño borne, al cual se conecta el electrodo activo. Estos electrodos son de un solo uso. El electrodo indiferente está hecho con un gel conductor, que se adhiere fácilmente a la piel (fig. 11.11).

- El electrodo indiferente (de polaridad opuesta al activo y sin solución medicamentosa), completamente humedecido con agua o solución salina, se colocará en la región opuesta al activo o a corta distancia. La disposición puede efectuarse según las dos modalidades explicadas anteriormente: transversal o longitudinal (fig. 11.12). El electrodo negativo ha de ser dos veces el tamaño del positivo, independientemente de cuál sea el electrodo activo.
- Las unidades de electrodos se aseguran sobre el paciente con vendajes de goma blanda o sacos de arena ligeros. Si se utilizan como electrodos bloques de estaño u hojas de aluminio (dobladas en 5-20 capas), pueden ser sujetadas a los hilos conductores con clips.
- Posición del paciente

Los pacientes no deben permanecer con su cuerpo encima del electrodo. Esto origina una isquemia de la zona, que puede provocar quemaduras, puesto que el efecto refrigerante del flujo circulatorio desaparece. El hombro, mano, cara, cuello, codo, regiones braquiales, rodilla, pierna, tobillo y pie se tratan mejor con el paciente sentado (fig. 11.13). el decúbito prono, supino y lateral son adecuados para tratamientos en el tronco, espalda, muslos, tórax anterior y abdomen.

Una vez el paciente ha adoptado la posición adecuada, con todos los diales a cero y con los electrodos colocados, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Colocar el selector de polaridad para corregir la polaridad del electrodo activo (la misma polaridad que la del ion introducido).
- Encender el generador comenzando con intensidades bajas, que iremos subiendo progresivamente, sin sobrepasar una densidad de corriente de $0,5 \text{ mA/cm}^2$ en el electrodo activo. El paciente debe sentir un ligero hormigueo, pero no una sensación quemante. Si el paciente está incómodo, hay que reducir la intensidad. Generalmente son suficientes 15-20 minutos de tratamiento a 5 mA. Si es necesario reducir la intensidad a 2-3 mA, se prolongará el tratamiento 5-10 minutos más, a menos que exista irritación de la piel que justifique acortar el tiempo de tratamiento.

Si en cualquier momento se produce irritación de la piel o sensación de quemazón, se apagará el generador lentamente y se observará la piel (tanto el encendido como el apagado del generador debe hacerse lentamente, para evitar contracción muscular no deseada, por el fenómeno de interrupción automática del flujo de corriente).

- Al término del tratamiento, bajar la intensidad de corriente lentamente, desconectar los electrodos y retirar las toallas.
- Aplicar cuidados apropiados en el área debajo del electrodo negativo y, si es necesario por irritación ligera, en el área del positivo. Dado que el negativo es el más irritante de los dos, después del tratamiento es aconsejable aplicar una loción sedante o una preparación astringente.
- Tras la iontoforesis, podrá continuarse con otras modalidades de tratamiento, excepto con el baño de remolino, debido a que el gran incremento de circulación que produce puede dispersar excesivamente los iones introducidos. Una modalidad apropiada de tratamiento auxiliar es la diatermia de onda corta, puesto que el calor profundo tiende a atraer los iones a tejidos más profundos.
- Existe una modalidad, la iontoforesis doble (asociación de dos sustancias con polaridades opuestas bajo ambos electrodos), que permite tratar dos localizaciones separadas de una manera simultánea. Con este procedimiento, sin embargo, no hay electrodo indiferente, puesto que ambos son activos.

Complicaciones de la iontoforesis

- **QUEMADURAS**

Uno de los principales riesgos de las aplicaciones electroterapéuticas, incluida la iontoforesis, son las quemaduras. La mayoría de las veces se originan por uso inadecuado.

Quemaduras químicas: la causa es la formación excesiva de hidróxido sódico en el cátodo. El hidróxido sódico produce una esclerosis del tejido, que tarda mucho en cicatrizar. Por lo general, inmediatamente después del tratamiento aparece una lesión elevada, rosada; horas más tarde se convierte en una herida grisácea y exudativa. El tratamiento incluirá antibióticos y cura estéril.

Las quemaduras debajo del ánodo son raras, debido a que la polaridad positiva produce un efecto esclerótico y endurece la piel; se caracteriza por un área indurada, roja, similar a una postilla. Debe tratarse del mismo modo que una quemadura química. Puede estar relacionada con intensidades altas de corriente o, más probablemente, con densidades de corriente elevadas.

Quemaduras térmicas: el aumento excesivo de calor, en áreas donde las resistencias son elevadas, producirá quemaduras, al igual que otra forma de calor. La resistencia alta se produce alrededor de hiperpigmentaciones o pecas y zonas de esclerosis. Sin embargo, las quemaduras debidas a resistencias altas se producen: cuando los electrodos no están bastante húmedos, cuando las arrugas evitan el buen contacto de la piel con los electrodos o cuando un electrodo rígido no se adapta convenientemente a la superficie anatómica y deja espacios aéreos entre la piel y la superficie del electrodo. Otra fuente posible de quemaduras térmicas es el resultado de una isquemia provocada por el peso del paciente

sobre el electrodo, lo que impide el aporte sanguíneo del área. Para prevenir las quemaduras por este motivo, se recomiendan medidas que alivien la presión, como sacos de arena, cintas de goma no apretadas y cambios de posición del paciente. El tratamiento será el mismo que para cualquier quemadura.

- EFECTOS ADVERSOS Y REACCIONES ALÉRGICAS A LOS IONES

La hipersensibilidad y las reacciones adversas a los iones son poco frecuentes, aunque importantes. Para evitarlas se han de tener en cuenta los antecedentes alérgicos del paciente, como: la alergia a los contrastes (yodo), al marisco (yodo) y a metales (cobre, cinc, magnesio), y antecedentes previos de patologías, como úlcera gástrica (evitar hidrocortisona y salicilatos).

Contraindicaciones de la iontoforesis

Las contraindicaciones de la iontoforesis son escasas. Son las propias de las corrientes de baja frecuencia unidireccionales:

- Presencia de implantes metálicos en el área de tratamiento (hilos, piezas de osteosíntesis). En cambio, la iontoforesis puede ser administrada en otras zonas, siempre que no se expongan a la corriente continua.
- Embarazo.
- Lesiones cutáneas: eccema, infecciones cutáneas.

Aunque las contraindicaciones son poco frecuentes, deben seguirse ciertas reglas para evitar riesgos:

1. Seguir todas las reglas generales para la estimulación eléctrica.
2. No utilizar iones en pacientes con alergia a ellos.
3. Observar la piel frecuentemente durante el tratamiento.
4. Nunca aplicar los electrodos sobre áreas cicatriciales. El metal de los electrodos nunca debe entrar en contacto con la piel.
5. Avisar al paciente de que informe ante cualquier sensación de quemadura.
6. Al principio, aumentar la intensidad de corriente lentamente y disminuirla también lentamente, a la conclusión del tratamiento.
7. Nunca retirar los electrodos sin apagar primero la unidad.

Conclusiones

El interés de la iontoforesis en medicina física, como agente terapéutico efectivo, está experimentando –en la actualidad– un lento pero importante resurgir. Ello está motivado, en parte, por el aumento del interés clínico y comercial en electroterapia, lo que ha renovado la instrumentación, y, en parte por el incremento de estudios bien diseñados, los cuales han aportado pruebas que apoyan la efectividad de la iontoforesis. Aunque la iontoforesis ha pasado por una fase de crítica y escepticismo en la pasas década, la técnica no se ha abandonado. La comunidad médica, actualmente, es más consciente de las ventajas de la iontoforesis sobre otras vías de administración de determinados fármacos.

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA ELECTRÓLISIS

Dentro de la terapéutica, se designa con la palabra *electrólisis* o *electrocoagulación* la destrucción de los tejidos por medio de la corriente galvánica. La electrólisis no es más que la aplicación particular de las propiedades polares de la corriente galvánica. Se basa, igualmente, en los efectos polares de esta corriente y busca un efecto destructivo de los tejidos, mediante la producción de una quemadura química. (Recordamos que el polo positivo tiene una reacción ácida con posible producción de quemadura y coagulación, mientras que el negativo tiene una reacción alcalina con producción también de quemadura y licuefacción; veremos que podemos elegir la forma de destrucción de tejidos que deseemos, según apliquemos a la lesión el electrodo positivo o el negativo.) Otra ventaja de la electrólisis es que su efecto definitivo depende de la cantidad de electricidad aplicada. Esta cantidad es igual al producto de la intensidad por el tiempo, lo cual nos permite conseguir el mismo efecto aplicando intensidades pequeñas durante un tiempo algo más largo que el que se precisaría con intensidades mayores, pero, en cambio, sin producir ninguna molestia al enfermo.

En la práctica, se coloca al enfermo en una posición confortable y se le aplica el electrodo activo, que suele ser el negativo (porque el desprendimiento de burbujas de hidrógeno ayuda al despegamiento del electrodo de la masa destruida), sobre la zona que hay que tratar. El otro electrodo se coloca en su inmediata vecindad. El electrodo activo, conectado al polo negativo, tiene la forma de una aguja que se implanta en la lesión, y se hace pasar una corriente de aproximadamente 1 mA durante 1 o 2 segundos, hasta que a su alrededor se aprecia la destrucción tisular. En este momento se cambia de posición, para actuar sobre otra zona cercana, y así sucesivamente, hasta destruir la totalidad de la masa patológica. El electrodo indiferente se sitúa en otro punto del organismo.

Durante la aplicación, si el polo negativo está conectado a la aguja, la piel en contacto con ella adquiere una coloración blanca grisácea, con aparición de espuma. En los días siguientes, aparece una escara blanda, no retráctil, que se desprende al cabo de algunos días sin dejar cicatriz.

Un caso particular de electrólisis lo constituye la llamada *depilación eléctrica*. Con ella se pretende eliminar el pelo destruyendo el bulbo piloso, para asegurar su completa desaparición. El folículo piloso se destruye al paso de la corriente por ionización del cloruro sódico y del agua circundante, lo que produce hidróxido sódico, agente cáustico para el folículo.

Para ello se coloca primero el electrodo indiferente y, manejando el electrodo activo, en este caso el negativo, que tiene la forma de una aguja muy fina, se lo introduce en el folículo piloso hasta alcanzar su fondo. En este momento se conecta la corriente; se aplica hasta 2 mA y, en unos 10 a 20 segundos, se ve aparecer una pequeña cantidad de espuma blanca, lo que es indicio de la destrucción del folículo. Sucesivamente, y en varias sesiones, se tratan todos los folículos pilosos de la zona que hay que depilar. Constituye un método seguro, definitivo e inofensivo de eliminación del vello. Los aparatos de depilación artificial para el tratamiento por parte del propio individuo constan de un soporte metálico con pilas

o baterías recargables, y aplicador metálico, sin electrodo indiferente, ya que el circuito se completa al mantener el mango metálico asido con la propia mano.