

FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA

La frecuencia es, precisamente, lo que define a los ultrasonidos y los distingue de los sonidos. La frecuencia está muy directamente relacionada con la absorción y la atenuación del haz, de forma que, *a mayor frecuencia, el ultrasonido se absorbe más rápidamente*. Utilizaremos frecuencias de de 0,5 a 1 MHz para tratar estructuras profundas y reservaremos las frecuencias más altas, de 2 hasta 3 MHz, para tratar piel y tejido subcutáneo.

La *longitud de onda* en un haz de ultrasonido es la distancia existente entre dos planos inmediatos de partículas del medio que estén en el mismo estado de movimiento. Es igual, como en cualquier otro tipo de onda, a la velocidad de propagación de la onda dividida por la frecuencia. Debemos tener en cuenta que vamos a mantener constante la frecuencia, pero la velocidad va a depender del medio que esté atravesando en ese momento, por lo que, al ser la velocidad muy variable en tejidos orgánicos, la longitud de onda también lo será.

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

La velocidad a la que los ultrasonidos se transmiten por un medio determinado depende de la densidad y de la elasticidad de dicho medio. Esta velocidad es fundamental, pues no sólo es uno de los factores que intervienen en la producción del eco, sino que además es la base para calcular la impedancia acústica, que a su vez es clave para la absorción.

La velocidad de propagación de un haz de ultrasonido a través de diversas sustancias es muy variable (tabla1). Las diferencias son poco acusadas entre tejidos blandos, hígado, riñón, cerebro o plasma, cercanos todos ellos a los 1.540 m/s. En el caso del aire (343 m/s), pulmón (650 m/s) y hueso (3.500 m/s), la muy distinta velocidad de transmisión del ultrasonido significa intensos ecos. Más adelante veremos que éstos producen dificultades cuando la zona que estamos tratando nos obligue a incluirlos dentro del haz.

IMPEDANCIA ACÚSTICA

La *impedancia acústica* es una característica del medio que atraviesa el ultrasonido. Relaciona la velocidad que la partícula adquiere en el momento de su vibración y la presión a la que está sometida. La impedancia da idea de la facilidad que un determinado medio ofrece al paso de ultrasonidos a su través.

Se conoce habitualmente con la letra Z y es igual al producto de la densidad del medio por la velocidad de transmisión del ultrasonido en ese medio ($Z= \rho V$). La reflexión se produce al intentar pasar el ultrasonido de un medio a otro con distinto Z . Si los medios tienen impedancias muy distintas, el ultrasonido se reflejará casi en su totalidad y no podrá alcanzar los órganos situados más profundamente.

ENERGÍA, POTENCIA E INTENSIDAD

El haz de ultrasonidos transporta una determinada cantidad de energía producida por el transductor; si la consideramos por unidad de tiempo, es lo que se conoce como *potencia*. La unidad de potencia es el vatio (W). Dividiendo la potencia por la superficie del haz, obtenemos la *intensidad* (W/cm²), que es uno de los parámetros más importantes que hay que tener en cuenta en los tratamientos con ultrasonidos.

Así pues, para saber la cantidad de ultrasonidos que están llegando en cada momento a una zona, deberemos referirnos a la intensidad o densidad de potencia. Habitualmente, en tratamientos con ultrasonidos que están llegando en cada momento a una zona, deberemos referirnos a la intensidad o densidad de potencia. Habitualmente, en tratamientos con ultrasonidos, utilizamos intensidades de entre 0,5 y 2,5 W/cm².

La Organización Mundial de la Salud (OMS) limita la intensidad (en emisión continua) a un máximo de 3 W/cm². En ecografía, las intensidades son mucho más bajas oscilan entre 1 y 10 mW/cm².

ATENUACIÓN

El haz de ultrasonidos va perdiendo intensidad conforme va avanzando por los tejidos. Esta pérdida por unidad de longitud se denomina *atenuación*.

La atenuación se produce por diferentes factores, desde la propia absorción de ultrasonidos por el medio hasta las diversas reflexiones que puedan producirse por inhomogeneidad del medio. También se producen dispersiones y pérdidas de dirección por refracción que lo hacen ineficaz a efectos terapéuticos.

La atenuación es de tipo exponencial. Para los ultrasonidos se establece el *coeficiente de atenuación*, que varía con las propiedades del medio y con la frecuencia del ultrasonido (tabla 2).

La atenuación es directamente proporcional a la frecuencia del ultrasonido utilizado, por lo que debemos esperar una mayor pérdida de intensidad del haz en profundidad, con ultrasonidos de mayor frecuencia. En la tabla 3 se muestra la profundidad media en algunos tejidos biológicos, para ultrasonidos de 1 y 3 MHz. Puede apreciarse lo que ya hemos señalado: si queremos tratar órganos profundos, deberemos emplear frecuencias más bajas (de 0,5 a 1 MHz).

La atenuación también depende de las características del medio. Los tejidos con mayor contenido en proteínas estructurales (cartílago, tendones, cápsula articular, ligamentos extracapsulares, músculos) absorben mayor cuantía de energía ultrasónica. Podemos decir que el hueso atenúa, a igualdad de frecuencia, 20 veces más que el músculo y otros tejidos blandos, por lo que todo lo situado detrás de un hueso recibirá mucha menos dosis.

HAZ DE PROPAGACIÓN

En un medio homogéneo, los ultrasonidos se propagan en línea recta. Cuando están producidos por un cristal, forman un haz, del cual sólo nos es útil la parte más cercana al transductor, que es donde el frente de ultrasonidos aparece plano: ésta se denomina *zona de Fresnel*. A partir de esta zona, el haz comienza a abrirse en la llamada *zona de Fraunhofer*. Aunque existen y, de hecho, utilizamos diversas técnicas para focalizar el haz, es importante recordar que la posibilidad de dirigir un haz con exactitud es mayor cuanto más elevada sea su frecuencia; sin embargo, su capacidad de penetración será menor.

Debido a este comportamiento no homogéneo del haz de ultrasonidos, debe considerarse el *coeficiente de no uniformidad del haz (Beam non-uniformity Ratio– BNR*. El BNR no debe ser menor de 4; para cabezales de aplicación correctamente fabricados, se sitúa entre 5 y 6.

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Cuando un haz de ultrasonidos va por un medio determinado con una impedancia Z y encuentra, perpendicular a su trayectoria, otro medio distinto con impedancia Z , se produce una reflexión de parte del haz, que llamamos eco. Éste será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia de impedancia entre ambos medios, siguiendo la fórmula:

$$(Z_2 - Z_1)^2$$

$$E =$$

$$(Z_2 + Z_1)^2$$

La reflectividad depende de la impedancia acústica de los diferentes medios (tabla 4). Si la diferencia de impedancia entre ambos medios es grande –como ocurre, por ejemplo, en el paso de tejido a aire–, la proporción de ultrasonido reflejado es casi 1, con lo que no pasa el haz al segundo medio. De ahí la importancia de evitar gases y la necesidad de utilizar sustancias de acoplamiento (gel, aceite, agua) entre el emisor y la piel del paciente.

En el interior del cuerpo humano se produce una reflexión significativa en las interfases entre tejidos blandos y hueso. Si el haz encuentra a su paso un medio de impedancia muy diferente, al intentar pasar la interfase que separa a los dos medios, se verá reflejado en su mayor parte, por lo que apenas quedará energía para los tejidos situados más profundamente. Además, la zona proximal cercana al cambio de medio verá muy incrementada su dosis. Esta situación se da al intentar atravesar el hueso y, sobre todo, el pulmón o una burbuja de aire gástrica o cólica, y puede obligarnos a buscar ventanas acústicas, es decir, tejidos a través de los cuales nuestro haz pueda llegar con suficiente energía a la zona que deseamos tratar. Los haces incidentes y reflejados pueden superponerse, por lo que pueden atenuarse o intensificarse entre sí. En el caso de que la interferencia produzca intensificación, la intensidad aumenta al generarse una onda estacionaria. Para reducir o evitar este problema, la aplicación se realiza movilizándolo continuamente el cabezal o aplacador, y utilizando la intensidad más baja necesaria.

CAVITACIÓN Y SEUDOCABITACIÓN

Se utilizan intensidades muy altas, las presiones y tracciones que sufre el medio atravesado por el ultrasonido pueden llegar a ser tan grandes que literalmente, se desgarre, por lo que sobre el hueco se concentrará más el haz. Este fenómeno se denomina cavitación y no debe producirse a las intensidades utilizadas habitualmente en medicina.

Sí que puede ocurrir que en la tracción, al atravesar un líquido orgánico, se produzcan pequeñas burbujas del gas disuelto en ese líquido. Es la llamada *seudocavitación*.

MECANISMOS DE ACCIÓN

ACCIÓN DE LOS ULTRASONIDOS SOBRE TEJIDOS ORGÁNICOS

El efecto terapéutico de los ultrasonidos es complejo y está determinado por diferentes efectos, que se entremezclan. Es difícil determinar su importancia relativa en los diferentes cambios biológicos observados:

– *Acción térmica*: la energía de los ultrasonidos absorbida por los tejidos atravesados por el haz termina transformándose en calor y a aumentando la temperatura de la zona tratada. Las moléculas de los tejidos se someten a vibraciones de elevada frecuencia y, a consecuencia del rozamiento, la energía mecánica adquirida por las moléculas acaba transformándose en calor.

En una aplicación fija, la temperatura puede elevarse a los pocos segundos, alrededor de 6 grados en la zona más próxima al transductor y en torno a 3 grados en zonas más alejadas; posteriormente, tiende a permanecer constante. El flujo sanguíneo tiende a sustraer calor de esa zona; así evita que se recaliente demasiado. En los habituales tratamientos por deslizamiento, la temperatura varía de manera continua, con valores – en conjunto– menores que en aplicaciones fijas.

Todos los efectos biológicos producidos por el calor local son aplicables a los ultrasonidos terapéuticos, con acciones similares, en este sentido, a las de radiación infrarroja, diatermia, microondas o la simple aplicación de una bolsa de agua caliente sobre la piel.

- *Acción mecánica*: en el apartado correspondiente a los principios físicos, veíamos

cómo los ultrasonidos podían asimilarse a una vibración que produce ondas de presión en los tejidos. De esta manera, se ven sometidos a unos movimientos rítmicos alternativos de presión y tracción, que producen una especie de micromasaje celular, con modificaciones de la permeabilidad y mejora de los procesos de difusión. El metabolismo celular está aumentado, a lo que contribuye también la vasodilatación inducida por el calor.

Los efectos mecánicos sobre los líquidos son mucho menos importantes, si exceptuamos la cavitación y pseudocavitación ya explicadas.

- *Acción química:* junto con las acciones anteriores puede observarse una mayor facilidad para la difusión de sustancias. Los ultrasonidos hacen penetrar agua en coloides y pueden transformar geles en soles.

EFECTOS BIOLÓGICOS

Como consecuencia de estas acciones, observaremos en la zona tratada una serie de efectos biológicos, que incluyen:

- *Vasodilatación* de la zona con hiperemia y aumento del flujo sanguíneo.
- Incremento del metabolismo local, con estimulación de las funciones celulares y de la capacidad de regeneración tisular.
- *Incremento del metabolismo local*, con estimulación de las funciones celulares y de la capacidad de regeneración tisular.
- *Incremento de la flexibilidad* de los tejidos ricos en colágeno, con disminución de la rigidez articular y de la contractura, en combinación con cinesiterapia.
- *Efecto antiálgico y espasmolítico*, que son los más útiles en lo que a indicaciones se refiere.

TÉCNICAS DE TRATAMIENTO

APARATOS DE ULTRASONIDOS TERAPÉUTICOS

Las unidades de ultrasonidos terapéuticos se encuentran constituidas, básicamente, por una consola en cuyo interior se halla un circuito oscilador de alta frecuencia y los mandos de control. El emisor piezoeléctrico se encuentra en el cabezal, impermeable, y de diversos tamaños y frecuencias.

Esencialmente, los mandos de control son: puesta en marcha, intensidad, tiempo de aplicación y, algunas unidades, mando de selección de emisión continua o pulsada. Si hay la posibilidad, existe un selector de frecuencia de emisión; es necesario el cambio de cabezal para cada frecuencia.

También existen aparatos más complejos para tratamientos combinados de ultrasonidos y electroestimulación.

MODALIDADES DE ULTRASONIDOS TERAPÉUTICOS

Los modos de aplicación son de forma continua o pulsátil. Su elección depende de la respuesta que desee obtenerse en los tejidos.

La *forma continua* consiste en la producción constante de ultrasonidos por parte del transductor, de manera que el operador va moviéndolo, lenta y suavemente, sobre la superficie de la piel y va cambiando su dirección, para hacer llegar la energía de la manera más homogénea posible a la zona que hay que tratar. Este sistema es más efectivo para elevar la temperatura y aprovechar, así, los efectos térmicos.

La *forma pulsátil* se basa en que el transductor corta el haz cada poco tiempo y reanuda, poco después, la producción. El ultrasonido sale, así, en forma de pulsos de mayor o menor duración y entre cada pulso hay un

tiempo de espera, que permite un cierto enfriamiento de los tejidos. Este sistema minimiza los efectos térmicos y permite utilizar potencias mayores. Es lo que ocurre en el caso de procesos inflamatorios agudos o en situaciones en las que la zona presenta un escaso aporte sanguíneo o éste se encuentra afectado.

SELECCIÓN DE LA FRECUENCIA E INTENSIDAD

Depende de la enfermedad que deseemos tratar, del tipo y profundidad del tejido y de la modalidad de ultrasonido utilizado, continuo o pulsátil (figura A).

Para la cicatrización de los procesos inflamatorios, los efectos no térmicos a baja frecuencia suelen producir una respuesta celular favorable; sin embargo, el modo continuo con intensidades mayores de W/cm^2 puede retardar el proceso de reparación.

De forma esquemática para ultrasonidos continuos puede establecerse:

$< 0,3 W/cm^2$ (intensidad baja)

$0,3-1,2 W/cm^2$ (intensidad media)

$1,2-2 W/cm^2$ (intensidad alta)

En cualquier caso, debe preguntarse al paciente, con regularidad, sobre su percepción del calor. En caso de que sea molesta o dolorosa, deberá disminuirse la intensidad o pasar al modo pulsátil. El dolor experimentado cuando la intensidad es muy elevada o el cabezal se desliza con excesiva lentitud proviene del periostio, y es signo de una técnica inadecuada.

Si lo que se pretende es calentar tejidos profundos dolorosos o contracturados, lo más idóneo es aplicar ultrasonidos continuos a dosis de $1,5$ a $2 W/cm^2$. Los músculos absorben dos veces más ultrasonidos que el tejido graso y el hueso, cuando se consigue penetrar, absorbe diez veces más que los tejidos blandos. Cuanta más energía ultrasónica absorbe el tejido, menos intensidad de tratamiento se requiere.

Para la emisión pulsátil, hay que considerar la *intensidad media*. Para ello se tienen en cuenta la relación entre la duración del pulso y el período del pulso. En estos casos, se obtiene el *ciclo de trabajo o funcionamiento*:

Tiempo de emisión (duración del pulso)

CF =

Tiempo de emisión + tiempo de pausa (período del pulso)

La mayoría de equipos de ultrasonidos tienen ciclos de trabajo que oscilan del 5 (0,05) al 50% (0,5). Con un ciclo del 20% sólo se produce un ligero efecto térmico. Conforme aumenta el ciclo de funcionamiento, el efecto térmico aumenta.

También la emisión pulsátil se expresa como una simple relación *pulso/pausa*. Por ejemplo, para una relación $1:5,1 W/cm^2$ en emisión pulsada corresponde a $0,2 W/cm^2$ en emisión continua.

En cuanto a las frecuencias utilizadas, las frecuencias altas se atenúan y absorben en las estructuras superficiales. Por ello, las altas frecuencias $3 MHz$ pueden utilizarse cuando las estructuras que hay que tratar se sitúan superficialmente ($1-2 cm$ de profundidad de la piel). Frecuencias de $0,5$ a $1 MHz$ se utilizan para tratamiento de estructuras profundas.

A la hora de seleccionar un cabezal, aparte de la profundidad de la zona, hay que tener en cuenta su tamaño, ya que debe ser mayor que la superficie del cabezal. En este sentido, ha de considerarse que, como el material piezoeléctrico no vibra uniformemente, el *área de radiación efectiva* (ERA) siempre es más pequeña que el área geométrica del cabezal.

ACOPLAMIENTO DEL CABEZAL

La superficie del transductor debe mantener el contacto plano, sin angulaciones, con la superficie que hay que tratar, ya que, si el ángulo que se forma entre el cabezal dicha zona es igual o mayor de 15°, se pierde buena parte del ultrasonido por reflexión y, por lo tanto, el efecto térmico puede disminuir o perderse.

Si queda aire atrapado entre la piel del paciente y el transductor, la diferencia de impedancia entre la superficie del cabezal y el aire hace que la mayor parte del haz se vea reflejado, por lo que los ultrasonidos no alcanzan apenas al paciente. Así pues, se hace necesario utilizar algún tipo de sustancia que permita el adecuado acoplamiento y que, además, facilite el movimiento del transductor sobre toda la zona que deseamos tratar.

Pueden utilizarse diversos *geles* comerciales, que se extienden sobre la piel y permiten, de manera cómoda, un acoplamiento adecuado; además suavizan el rozamiento al mover el cabezal sobre la piel. Por otra parte, transmiten mejor el ultrasonido que la glicerina, parafina o aceites, también utilizados.

El modo *subacuático* de tratamiento consiste en introducir la zona que hay que tratar en una cubeta de plástico o loza con agua y utilizar el transductor sumergido y a distancia de la piel (1,5– 2 cm). El agua asegura el correcto acoplamiento. Debe utilizarse cuando deseamos tratar zonas poco regulares, como tobillos, codos o manos, en las que el acoplamiento con gel sería más difícil.

El agua debe estar desgasificada, para evitar el depósito de burbujas de aire entre el cabezal y la piel. Para ello, el agua se hierve previamente; también puede ser suficiente agua destilada a 37° C o, incluso, agua estéril, si va a tratarse una herida abierta o úlcera.

SISTEMÁTICA DE APLICACIÓN

La aplicación debe efectuarse deslizando el transductor sobre la superficie de la piel en la región que desea tratarse, convenientemente recubierta de gel (método dinámico). La intensidad se aumenta cuando el cabezal se encuentra en contacto con el gel, ya que, de lo contrario, puede dañarse el material piezoeléctrico.

Si la región es extensa, pueden tratarse sucesivamente las distintas zonas que la componen. El movimiento puede ser también circular y, en todo caso, debe ser lento y homogéneo. Según la zona, en algunas ocasiones debe inclinarse el cabezal sobre la propia piel, para aprovechar ventanas acústicas que faciliten la llegada del ultrasonido a zonas protegidas. De la misma, sobre zonas difíciles puede efectuarse el tratamiento subacuático, que no precisa la adaptación tan perfecta entre el cabezal y la piel.

En general, no se recomienda la aplicación de forma estacionaria, es decir, con el cabezal fijo en un punto de la piel, especialmente con el modo continuo, ya que puede lesionarse el endotelio vascular de los pequeños vasos sanguíneos y favorecer la agregación plaquetaria y la formación de trombos. Con ultrasonido pulsátil a bajas intensidades, puede realizarse la aplicación de forma semiestacionaria, movilizándolo muy lentamente el cabezal sobre la piel.

NÚMERO Y DURACIÓN DE LAS SESIONES

Las sesiones pueden tener una duración de 10 a 20 minutos y suelen aplicarse una vez al día. En las lesiones agudas, se utiliza el modo pulsátil por espacio de 6– 8 días en sesiones diarias. En los problemas crónicos, se

utiliza el modo continuo a lo largo de 10–12 sesiones en días alternos.

El número consecutivo de aplicaciones debería limitarse a no más de 14 en la mayoría de las situaciones. Se dice que más de 14 sesiones pueden reducir el número de hematíes y leucocitos, por lo que debe esperarse varias semanas después de haber aplicado este número de sesiones.

Se ha comunicado un caso de abuso de ultrasonidos en un paciente que recibió tratamiento por espacio de 2 años. El paciente que recibió tratamiento por espacio de 2 años. El paciente presentó dolor abdominal, parestesias en las extremidades inferiores, hemorragia rectal y tenesmo. Sin embargo, ni este caso ni la guía de 14 sesiones como máximo han podido demostrarse científicamente, y muchos investigadores dudan seriamente de que el uso continuado de ultrasonidos produzca algún afecto secundario.

INDICACIONES

Las indicaciones de los ultrasonidos son muy numerosas y están basadas en sus efectos circulatorios, antiálgicos y fibrinolíticos. Casi cualquier problema inflamatorio crónico puede mejorarse con un correcto tratamiento por medio de ultrasonidos.

Las indicaciones clásicas incluyen:

Aparato Locomotor. Dolores artrósicos, mialgias, distensiones, tenopatías, espasmos musculares o puntos dolorosos de las epicondritis, epitrocleítis o periartrosis

escapulohumeral. También están indicados en tratamientos antiálgicos de los puntos gatillo del síndrome miofacial. En lesiones deportivas, son útiles en los síndromes de sobrecarga, especialmente en tendones como el aquileo y el rotuliano, que con frecuencia sufren sobrecarga traumática.

Sistema circulatorio y nervioso. Por su acción circulatoria y simpático lítica, los ultrasonidos pueden utilizarse en la distrofia ósea refleja; se aplican sobre el ganglio estelar, para provocar un bloqueo mecánico y, de este modo, aumentar el flujo sanguíneo de la extremidad superior. Su capacidad para aumentar el flujo vascular hace que los ultrasonidos pulsátiles sean adecuados para el tratamiento de zonas con riego disminuido y de úlceras cutáneas relacionadas con problemas circulatorios. También son útiles en el tratamiento de la enfermedad de Raynaud.

Por su *acción fibrinolítica*, los ultrasonidos pueden utilizarse en las cicatrices retráctiles y en los primeros estadios de la retracción palmar de Dupuytren. También se utilizan para liberar adherencias y para disminuir los síntomas de una plica sinovial inflamada en la rodilla.

PRECAUCIONES Y CONTRAINDICACIONES

Los ultrasonidos tienen pocas contraindicaciones específicas. Las más importantes coinciden con las del calor y el aumento de temperatura. Bajo ningún concepto pueden aplicarse ultrasonidos terapéuticos, y menos en modo continuo, sobre *inflamaciones agudas de cavidades cerradas*. Así pues, una posible apendicitis aguda, una artritis aguda supurada o una sinusitis aguda nunca deben tratarse con ultrasonidos ni con cualquier otra forma de calor (en realidad, bastante calor tienen por sí mismas).

Los ultrasonidos continuos no deben utilizarse en el período agudo de los traumatismos musculoesqueléticos, ya que pueden provocar una exacerbación de los síntomas (dolor, edema). Sin embargo, los ultrasonidos pulsados con un ciclo de funcionamiento bajo pueden emplearse para obtener analgesia.

Una de las complicaciones músculo tendinosas de las fracturas es la miositis osificante, consistente en la aparición de una masa calcificada en las proximidades de una articulación, que puede provocar una importante

limitación funcional. El lugar más frecuente de aparición es el codo, en relación con movilizaciones pasivas forzadas e intempestivas. La aplicación precoz de ultrasonidos, antes de la consolidación de la fractura, contribuye a aumentar el riesgo de aparición de esta complicación. Si la miositis osificante se encuentra todavía en fase de desarrollo, los ultrasonidos también están contraindicados.

Dado que la sensación de quemazón o dolor indica una sobre dosificación o técnica incorrecta, debe examinarse la *sensibilidad de la zona*, pues la percepción del paciente sirve como mecanismo de retroalimentación.

En presencia de marcapasos, debe evitarse la aplicación de ultrasonidos terapéuticos sobre el *área cardíaca*, debido a que pueden interferir con el ritmo cardíaco y con la conducción nerviosa, y pueden alterar las propiedades contráctiles del miocardio. También está contraindicada la aplicación de ultrasonidos sobre la columna vertebral cuando existe una laminectomía, porque el tejido óseo que protege la médula se ha extirpado, lo que expone la médula a la energía de los ultrasonidos.

Los ultrasonidos continuos no deben aplicarse sobre áreas de insuficiencia vascular, ya que la irrigación sanguínea puede ser insuficiente, en relación con la demanda metabólica. Tampoco deben utilizarse *sobre zonas tumorales*, por el riesgo de que el incremento de vascularización favorezca la extensión del tumor y la aparición de metástasis.

Deben utilizarse con precaución cuando se aplican en la rodilla lesionada de niños o adolescentes, por la proximidad del *platillo de crecimiento* del fémur, tibia y peroné. Algunos autores recomiendan que no se utilicen hasta que el crecimiento sea ya completo, a los 18 o 20 años.

Aunque la exografía fetal es un procedimiento diagnóstico muy extendido y sin riesgo, no se recomiendan los ultrasonidos terapéuticos sobre el útero durante el embarazo. Tampoco deben aplicarse sobre el ojo, ya que pueden causar lesiones graves, como desprendimiento de retina, y provocar seudocavitaciones en la interfase líquida.

A diferencia de las microondas o de la onda corta, los ultrasonidos pueden utilizarse en **pacientes con implante metálico**, ya que no se aumenta en exceso la temperatura en los tejidos blandos, aunque resulte conveniente no utilizar dosis elevadas. Cuando las prótesis son cementadas, los ultrasonidos deben utilizarse con mucha precaución y a muy bajas dosis.

SONOFORESIS

La sonoforesis es un sistema de transporte transdérmico, que utiliza los ultrasonidos para facilitar la penetración de los medicamentos aplicados tópicamente. La piel es el órgano más accesible del cuerpo humano. Cubre un área superficial de, aproximadamente, dos metros cuadrados y recibe cerca de un tercio de la circulación sanguínea del cuerpo.

La efectividad del transporte de medicamentos dependerá, en el área que hay que tratar, de la hidratación de la piel, de la presencia de ácidos grasos, de la condición de la piel (sana o enferma) y de la edad del paciente. La piel humana cambia con los años. El estrato córneo es más seco en los ancianos que en los jóvenes, ya que con la edad se reduce la microcirculación y la cantidad de lípidos. Estos factores limitan la absorción de los medicamentos, puesto que la piel bien hidratada facilita la absorción de las sustancias hidrófilas y la reducción del flujo sanguíneo limita el transporte sistémico de los medicamentos.

Las moléculas de los medicamentos pueden penetrar en el epitelio transcelular o intercelular a través de los canales existentes entre las células, pero la difusión es más fácil a través de los folículos capilares, las glándulas sebáceas y los conductos sudoríparos. Los folículos capilares son el primer medio de difusión de los medicamentos. La aplicación de calor previa a la administración de los medicamentos puede dilatar los

folículos pilosos y aumentar la energía cinética y el movimiento de las partículas en el área que hay que tratar, lo que facilita su absorción.

Tanto los ultrasonidos continuos como los pulsátiles pueden aumentar la difusión de los medicamentos aplicados tópicamente. El calor generado aumenta la energía cinética de las moléculas, dilata los puntos de entrada de los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas, y aumenta la circulación del área tratada, lo que permite una mayor difusión a través del estrato córneo. También las características mecánicas de las ondas sónicas aumentan la difusión de los medicamentos, ya que las vibraciones cambian el potencial de reposo o provocan modificaciones de la permeabilidad de la membrana.

Con respecto a la iontoforesis, la sonoforesis presenta la ventaja de que las partículas de la medicación no tienen por qué estar cargadas eléctricamente y, además, no se producen efectos electroquímicos.

Los tres medicamentos más utilizados en la sonoforesis son:

- – *Anestésicos*, como la lidocaína, que bloquean los receptores del dolor.
- – *Sustancias irritantes*, como el mentol, también con el propósito de aliviar el dolor.
- – *Antinflamatorios* no esteroideos, como los salicilatos, o esteroideos, como la hidrocortisona y la dexametasona.

TABLAS Y ESQUEMAS

TABLA 1: Velocidad de propagación del ultrasonido en diferentes materiales

MEDIO	V (m/s)
Berilio	12.890
Aluminio	2.700
Hueso	3.500
Cartílago	1.750
Músculo estriado	1.580
Corazón	1.575
Plasma	1.570
Hígado	1.550
Cerebro	1.545
Vaso sanguíneo	1.530
Piel	1.519
LCR	1.510
Grasa profunda	1.450
Agua (20 °C)	1.492
Grasa subcutánea	1.215
Polietileno	920
Pulmón	650
Aire (20 °C)	343

TABLA 2: Coeficiente de atenuación de ultrasonidos de 1 y 3 MHz

Coeficiente de atenuación (cm⁻¹)

MEDIO	1 MHz	3 MHz
Agua (20 °C)	0,0006	0.0018
Sangre	0,028	0,084
Tejido nervioso	0,2	0,6
Vaso sanguíneo	0,4	1,2
Grasa	0,14	0,42
Piel	0,62	1,86
Músculo *	0,76	2,28
**	0.28	0,84
Tendón	1,12	3,36
Cartílago	1,16	3,48
Hueso	3,22	
Aire (20 °C)	2,76	8,28

* Haz perpendicular a las fibras

** Haz paralelo a las fibras

TABLA 3: Profundidad media (mm) en diversos medios para ultrasonidos de 1 y 3 MHz

Medio	1 MHz	3 MHz
Tejido óseo	2,1	
Piel	11,1	4
Cartílago	6	2
Aire (20 ° C)	2,5	0,8
Tendón	6,2	2
Músculo *	9	3
**	24,6	8
Tejido adiposo	50	16,5
Agua (20 °C)	11.500	3.833,3

* Haz perpendicular a las fibras.

** Haz paralelo a las fibras.

TABLA 4: Reflexión porcentual del ultrasonido en diferentes interfases

INTERFASE	REFLEXION PORCENTUAL
Aluminio–aire	100
Piel–aire	99,9
Aluminio–medio de acoplamiento	60
Músculo–hueso	41–34,5
Piel–tejido graso	0,90
Grasa–músculo	0,80–1,08
Músculo–sangre	0,74

Piel-aceite	0,36
Agua-tejido graso	0,20
Cabezal-gel acoplador	Prácticamente nulo

ESQUEMA ORIENTATIVO PARA LA SELECCIÓN DE ULTRASONIDOS CONTINUOS O PULSÁTILES.

