

Terapia ultrasónica



Indice

| | Página |
|---|--------|
| PREFACIO | 5 |
| Capítulo 1 INFORMACIÓN BÁSICA | 6 |
| 1.1 Definiciones | 6 |
| - Sonido | 6 |
| - Terapia ultrasónica | 6 |
| -Terapia de ultrasonoforesis | 6 |
| - Diagnóstico ultrasónico | 6 |
| 1.2 Fundamentos físicos | 6 |
| 1.2.1 Generación de los ultrasonidos | 6 |
| - Modos de generación del ultrasonido | 6 |
| - Efecto piezoeléctrico | 6 |
| - Efecto piezoeléctrico invertido | 6 |
| 1.2.2 Equipo | 6 |
| - Ultrasonidos continuos y pulsátiles | 7 |
| - Periodo de repetición de los impulsos | 7 |
| - Area de radiación efectiva (ERA) | 8 |
| 1.3 Propiedades del haz ultrasónico | 8 |
| - Campo cercano | 8 |
| - Campo distante | 8 |
| - Valor BNR..... | 9 |
| - Divergencia del haz ultrasónico | 9 |
| 1.4 Fenómenos físicos que ocurren en el medio | 9 |
| 1.4.1 Naturaleza de la onda (ultra) sónica | 9 |
| 1.4.2 Longitud de onda del ultrasonido | 10 |
| 1.4.3 Densidad de masa del medio | 10 |
| 1.4.4 Impedancia acústica específica | 10 |
| 1.4.5 Compresión y expansión de los medios | 10 |
| 1.4.6 Reflexión y refracción del sonido | 10 |
| - Reflexión del ultrasonido | 10 |
| - Refracción del ultrasonido | 11 |
| 1.4.7 Diseminación del ultrasonido | 11 |
| 1.4.8 Interferencia del ultrasonido | 11 |
| 1.4.9 Absorción y penetración del ultrasonido | 12 |
| - Coeficiente de absorción | 12 |
| - Valor media de profundidad | 12 |
| - Profundidad de la penetración | 13 |
| 1.5 Medio de contacto | 13 |
| 1.6 Propiedades de transmisión de los medios de contacto | 13 |
| Capítulo 2 EFECTOS BIOFISICOS DEL ULTRASONIDO | 14 |
| 2.1 Introducción | 14 |
| 2.2 Efecto mecánico | 14 |
| 2.3 Efecto térmico | 14 |
| 2.4 Efectos biológicos | 15 |
| - Estimulación de la circulación sanguínea | 15 |
| - Relajación muscular | 16 |
| - Intensificación de la permeabilidad de la membrana | 16 |
| - Estimulación de la capacidad regenerativa tisular | 16 |
| - Efecto sobre los nervios periféricos | 16 |
| - Reducción del dolor | 17 |
| - Mejoría de la circulación tisular | 17 |
| - Normalización del tono tisular | 17 |
| - Reducción de la tensión tisular | 17 |

| | |
|--|-----------|
| - Reducción del PH | 17 |
| - Estimulación de las fibras nerviosas aferentes | 17 |
| 2.5 Otros efectos | 17 |
| - Daño tisular | 17 |
| - Estasis de las células sanguíneas | 17 |
| - Otros efectos secundarios descritos | 17 |
| Capítulo 3 TECNICA | 18 |
| 3.1 Modos de transferencia de energía y manipulación de la cabeza de tratamiento | 18 |
| 3.1.1 Contacto directo entre la cabeza y el cuerpo | 18 |
| 3.1.2 Tratamiento bajo el agua | 18 |
| 3.1.3 Manipulación de la cabeza de tratamiento | 18 |
| 3.2 Puntos de aplicación del tratamiento | 19 |
| 3.3 Dosificación | 19 |
| 3.3.1 Introducción | 19 |
| 3.3.2 Intensidad | 19 |
| 3.3.3 Liberación de energía | 20 |
| 3.3.4 Duración del tratamiento | 20 |
| 3.3.5 Comienzo y frecuencia del tratamiento | 20 |
| 3.4 Método | 21 |
| - Antes del tratamiento | 21 |
| - Durante el tratamiento | 21 |
| - Después del tratamiento | 21 |
| Capítulo 4 APLICACIONES ESPECIALES DE LOS ULTRASONIDOS | 22 |
| 4.1 Terapia combinada | 22 |
| 4.1.1 Combinación de ultrasonidos con electroterapia de baja frecuencia | 22 |
| 4.1.2 Combinación de ultrasonidos con electroterapia de frecuencia media | 22 |
| 4.1.3 Técnica de la terapia combinada | 23 |
| - Diagnóstico | 23 |
| - Terapia | 24 |
| 4.2 Indicaciones y contraindicaciones | 24 |
| 4.3 Terapia de ultrasonoforesis | 24 |
| Capítulo 5 INDICACIONES | 25 |
| 5.1 Introducción | 25 |
| 5.2 Trastornos | 25 |
| Capítulo 6 CONTRAINDICACIONES | 27 |
| 6.1 Contraindicaciones específicas absolutas | 27 |
| 6.2 Contraindicaciones específicas relativas | 27 |
| Capítulo 7 EJEMPLOS DE TRATAMIENTOS | 28 |
| 7.1 Introducción | 28 |
| 7.2 Algunos ejemplos detallados del tratamiento | 30 |
| 7.2.1 General | 30 |
| 7.2.2 Específico | 30 |
| - Bursitis subacromial | 30 |
| - Tratamiento del tejido cicatricial después de la sustitución total de cadera | 30 |
| - Tratamiento de la tendinitis del músculo segundo radial externo | 30 |
| - Tratamiento de la sinovitis de la rodilla | 30 |
| REFERENCIAS | 30 |
| Lista de tablas y esquemas | |
| Tabla 1.1 Ejemplo de los parámetros para ultrasonido pulsátil con una frecuencia de repetición de los impulsos de 100 Hz | 7 |
| Tabla 1.2 ERA para el SONOPULS 434 | 8 |

| | |
|---|----|
| Tabla 1.3 Valores BNR para el SONOPULS 434 | 9 |
| Tabla 1.4 Angulos de diseminación a 1 y 3 MHz para algunas cabezas sónicas | 9 |
| Tabla 1.5 Velocidad de propagación (c), densidad de masa (ρ) y longitud de onda (λ) para ondas ultrasónicas con frecuencia de 1 MHz y 3 MHz en los diferentes medios | 10 |
| Tabla 1.6 Impedancia acústica específica | 10 |
| Tabla 1.7 Reflexión en algunos límites de medios | 11 |
| Tabla 1.8 Coeficiente de absorción a 1 y 3 MHz | 12 |
| Tabla 1.9 Profundidad media ($D \frac{1}{2}$) en diversos medios | 12 |
| Tabla 1.10 Profundidad de la penetración para algunos medios | 13 |
| Esquema 7.1 Determinación del factor tiempo | 28 |
| Esquema 7.2 Esquema para el tratamiento | 29 |

PREFACIO

Este manual de terapia debe considerarse en primer lugar como una ayuda para el uso del equipo ultrasónico ENRAF-NONIUS. Dada la gran demanda por más información sobre los ultrasonidos, hemos juzgado oportuno proporcionar una explicación detallada de este tema.

Agradecemos al señor R. Hoogland esta descripción de la teoría y la aplicación práctica de los ultrasonidos.

CAPÍTULO 1

Información básica

1.1 DEFINICIONES

Definición del sonido: El sonido consiste en vibraciones mecánicas en un medio elástico.

Estas ondas longitudinales pueden hacer que vibre la membrana timpánica. Estas son vibraciones sonoras. Las frecuencias inferiores a 20 Hz son subsónicas y las superiores a 20.000 Hz son ultrasónicas. Esta definición del ultrasonido guarda relación con el oído humano. Es subjetiva y arbitraria. Esto pone de manifiesto por el hecho de que la gama de sonidos audibles disminuye con la edad.

Definición de la terapia ultrasónica: Por terapia ultrasónica se entiende el tratamiento médico mediante vibraciones mecánicas con una frecuencia superior a 20 kHz.

En la práctica, las frecuencias usadas para el tratamiento oscilan entre 0,7 y 3 MHz. Sin embargo, existen algunos equipos para diagnóstico y terapia que usan frecuencias entre 5 kHz y 10 MHz.

Definición de la terapia de ultrasonoforesis: Por terapia de ultrasonoforesis se entiende el tratamiento médico con sustancias medicinales introducidas en el cuerpo mediante la energía ultrasónica.

Definición de diagnóstico ultrasónico: El diagnóstico ultrasónico usa los ultrasonidos para estudiar una parte del cuerpo y detectar cambios patológicos.

Si es necesario, esto puede combinarse con varias corrientes eléctricas. Las zonas sensibles de los tejidos, relativamente fáciles de encontrar de esta forma, pueden usarse como puntos de aplicación para el tratamiento. La técnica se describirá en el capítulo 3.

1.2. FUNDAMENTOS FÍSICOS

Este libro se referirá a los manuales estandarizados sobre física del ultrasonido. Sólo se darán los resultados; para la derivación de las fórmulas y la información básica debe consultarse la literatura física relevante.

1.2.1 GENERACIÓN DEL ULTRASONIDO

Modos de generación del ultrasonido

Cualquier objeto que vibra es una fuente de sonido. Aunque las ondas sonoras pueden ser generadas de forma diferente, por ejemplo mecánicamente (diapasón), en medicina se generan por medio de los llamados transductores electroacústicos.

Efecto piezoeléctrico

Si se aplica presión a los cristales (cuarzo) y a ciertos materiales policristalinos como el titanato de plomo-circonato (PZT) y el titanato de bario, se producen cambios eléctricos en la superficie externa del material piezoeléctrico. Esto se conoce como efecto piezoeléctrico.

Los efectos piezoeléctricos se observan también en el cuerpo humano, especialmente en el tejido óseo, las fibras de colágeno y las proteínas corporales. Es posible que estos fenómenos piezoeléctricos intervengan en los efectos biológicos del ultrasonido.

Efecto piezoeléctrico invertido

El efecto piezoeléctrico es reversible. Así, si las sustancias mencionadas más arriba son expuestas a una corriente eléctrica alterna, experimentan cambios en la forma de acuerdo con la frecuencia del campo eléctrico alternante. El material se convierte así en una fuente de sonido.

Actualmente se usan el cuarzo, el titanato de bario y el titanato de plomo-circonato (PTZ) para generar ultrasonidos mediante el efecto piezoeléctrico inverso. Los dos últimos materiales tienen la ventaja de que, debido a sus propiedades ferroeléctricas, son suficientes algunas decenas de voltios para inducir la energía acústica requerida.

Esto, por ejemplo, hace innecesario un transformador en la cabeza de tratamiento, permitiendo que tenga un tamaño mucho menor. El cuarzo requiere un voltaje alto (varios kV). A causa de la necesidad de un transformador, la cabeza de tratamiento debe ser relativamente grande.

El PZT es preferible al titanato de bario debido a que retiene sus marcadas propiedades piezoeléctricas hasta temperaturas mucho más altas. Por último, el PZT es menos sensible a los choques mecánicos.

1.2.2 EQUIPO

El instrumento consiste en un generador de alta frecuencia, conectado a un cristal piezoeléctrico (cabeza de tratamiento).

La frecuencia de resonancia del cristal está determinada en parte por el grosor del material piezoeléctrico (PZT), que en consecuencia determina también la frecuencia del ultrasonido. Además, esto implica que la cabeza de tratamiento y el equipo deben estar ajustados entre sí, de forma que la cabeza no puede usarse con otro equipo ultrasónico a menos que se realice una calibración.

La innovación técnica ha resuelto este problema en el SONOPULS, en el que las cabezas de tratamiento son totalmente intercambiables entre distintos instrumentos del mismo tipo (ver foto 1).

A consecuencia de la corriente alterna aplicada al material piezoeléctrico, éste genera vibraciones sónicas. Las vibraciones se propagarán en los medios vecinos (p. ej. tejidos). Puesto que el material piezoeléctrico genera ondas sónicas bidireccionales, el ultrasonido también entrará en la cabeza de tratamiento (efecto de rebote). Esto tiene poco significado debido al aire presente en la cabeza. Puesto que el transductor vibra también en sentido lateral, la energía ultrasónica es transferida a la pared

lateral de la cabeza, a través del montaje del transductor (emisión hacia la pared



lateral). En las cabezas de tratamiento del SONOPULS, la radiación lateral parásita se ha reducido a menos de 10 W/cm^2 . Varios especialistas citan un valor inferior a 100 W/cm^2 como aceptable. Con el uso prolongado, la radiación lateral parásita puede dar lugar a síntomas en el terapeuta. El desarrollo de síntomas depende también de la intensidad de esta radiación lateral. Por tanto, debe medirse y especificarse su valor para el equipo.

Ultrasonidos continuos y pulsátiles

La mayor parte de los equipos ultrasónicos pueden generar energía ultrasónica continua y pulsátil. La intensidad máxima que puede ajustarse para el ultrasonido continuo es de 3 W/cm^2 .



El SONOPULS permite ajustar la intensidad entre 0 y 2 W/cm^2 para el ultrasonido continuo y 3 W/cm^2 para el pulsátil.

El modo pulsátil del haz ultrasónico tiene la ventaja de suprimir las sensaciones térmicas. Además, este modo permite una intensidad más alta, que podría causar efectos nocivos si se aplicare con el ultrasonido continuo. Esta intensidad más alta explica probablemente los efectos no térmicos aparecidos durante la terapia con ultrasonidos pulsátiles. Debido a la pulsación del haz ultrasónico, los efectos mecánicos son más pronunciados.

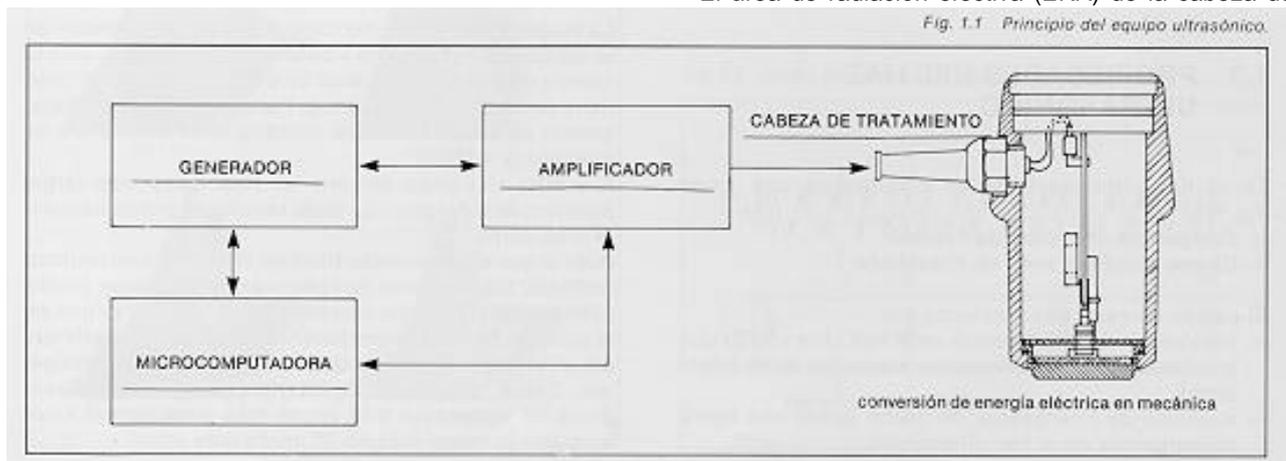
Tabla 1.1 Ejemplo de los parámetros para ultrasonido pulsátil con una frecuencia de repetición de los impulsos de 100 Hz .

| Relación (= 'Duty cycle') | Duración del impulso (ms) | Pausa entre los impulsos (ms) | Repetición de los impulsos (ms) |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 : 5 (= 20%) | 2 | 8 | 10 |
| 1 : 10 (= 10%) | 1 | 9 | 10 |
| 1 : 20 (= 5%) | 0,5 | 9,5 | 10 |

Área de radiación efectiva (ERA)

El área de radiación efectiva (ERA) de la cabeza de

Fig. 1.1 Principio del equipo ultrasónico.



tratamiento es un parámetro importante que determina la intensidad. Puesto que el elemento piezoeléctrico no vibra uniformemente, el ERA es siempre más pequeña que el área geométrica de la cabeza de tratamiento. Para permitir una indicación exacta de la intensidad en el instrumento, es esencial la determinación del ERA, puesto que la intensidad efectiva depende de ella. Debido a que la dosis de ultrasonidos depende en parte del área a tratar, esta es otra razón por la que tiene importancia el ERA. Así pues, se debe medir y especificar el ERA (ver fig. 1.2).

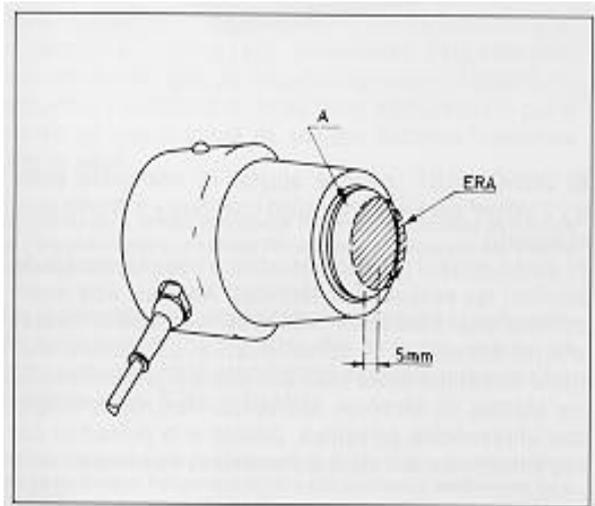


Fig. 1.2 Representación esquemática del área geométrica (A) y del área de radiación efectiva (ERA).

Tabla 1.2 ERA para el SONOPULS cabezas de tratamiento.

| | ERA | Area geométrica |
|-------|---------------------|---------------------|
| 1 MHz | 5,0 cm ² | 6,2 cm ² |
| | 0,8 cm ² | 1,4 cm ² |
| 3 MHz | 5,0 cm ² | 6,2 cm ² |
| | 0,5 cm ² | 0,7 cm ² |

1.3 PROPIEDADES DEL HAZ ULTRASÓNICO

En el haz ultrasónico deben distinguirse dos áreas (fig. 1.3):

- Campo cercano: zona de Fresnel.
- Campo distante: zona de Fraunhofer.

El campo cercano se caracteriza por:

- Fenómenos de interferencia en el haz ultrasónico que pueden conducir a variaciones marcadas de su intensidad.
- Ausencia de divergencia; de hecho existe una ligera convergencia en el haz ultrasónico.

El campo distante se caracteriza por:

- Ausencia casi total de fenómenos de interferencia, de forma que el haz sónico es uniforme y la intensidad disminuye gradualmente al aumentar la distancia hasta el transductor.
- El haz ultrasónico tiene un diámetro mayor. El tamaño depende del tipo de haz sónico (divergente o colimador).
- Una extensión más amplia de la energía sónica debida a la divergencia y al hecho de que la distribución de la intensidad perpendicular al eje longitudinal del haz sónico adquiere cada vez más una forma de campana (fig. 1.4).

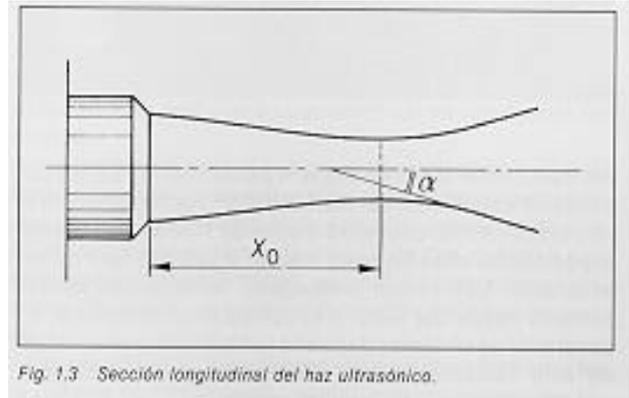


Fig. 1.3 Sección longitudinal del haz ultrasónico.

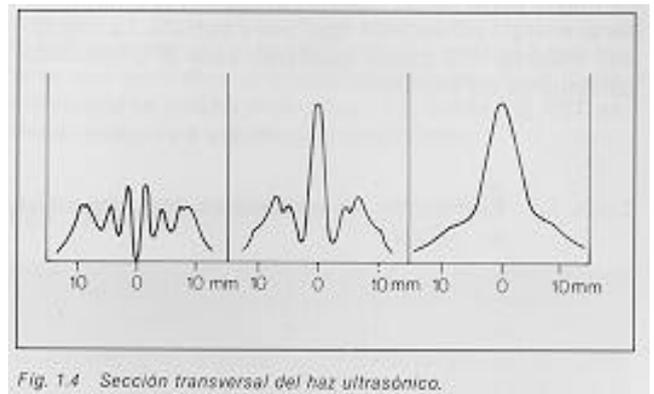


Fig. 1.4 Sección transversal del haz ultrasónico.

La longitud del campo cercano depende del diámetro de la cabeza de tratamiento y de la longitud de onda. Con la cabeza de tratamiento usual de 5 cm², el campo cercano tiene unos 10 cm de longitud. Para una cabeza de tratamiento de 1 cm² el campo cercano mide unos 2 cm de longitud (a 1 MHz).

A 3 MHz el campo cercano es tres veces más largo, puesto que la longitud de onda resulta proporcionalmente más corta.

Puesto que el ultrasonido tiene un efecto en profundidad limitado, las acciones terapéuticas se producen principalmente en el campo cercano. Debe recordarse que en la zona Fresnel se producen fenómenos de interferencia en el haz ultrasónico, que hacen que no sea homogéneo. Estos fenómenos de interferencia pueden causar picos de intensidad 5-10 veces más altos que el valor ajustado (a veces incluso 30 veces más altos).

Este comportamiento no homogéneo del haz sónico se expresa por el coeficiente de no uniformidad de haz (**Beam non uniformity Ratio; BNR**).

El valor BNR

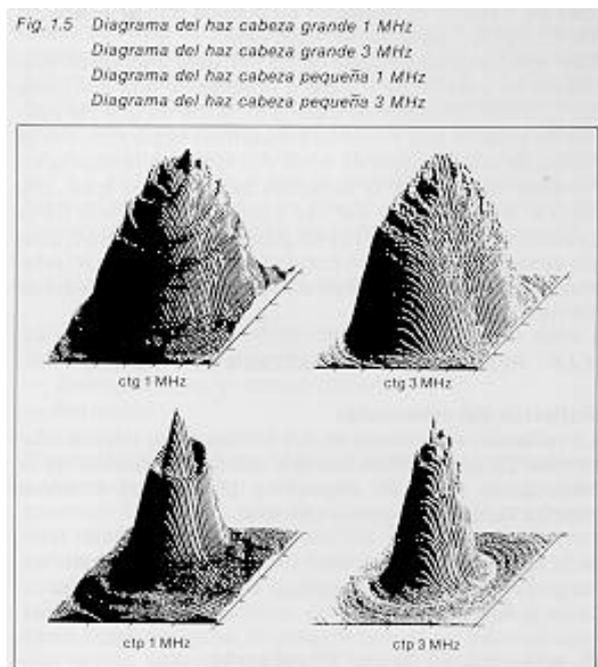
En teoría, el BNR no puede ser menor de 4; es decir, siempre debe tenerse en cuenta la posibilidad de picos de intensidad por lo menos 4 veces superiores al valor ajustado. Para cabezas de tratamiento bien fabricadas, la BNR se sitúa entre 5 y 6, dependiendo de la construcción. El valor BNR debe especificarse en la cabeza de tratamiento.

Tabla 1.3 Valores BNR para el SONOPULS cabezas de tratamiento

| | |
|-------|--|
| 1 MHz | Cabeza de tratamiento 6,2 cm ² 5,0 máx. Cabeza de tratamiento 1,4 cm ² 5,0 máx. |
| 3 MHz | Cabeza de tratamiento 6,2 cm ² 6,0 máx. Cabeza de tratamiento 0,7 cm ² 5,0 máx. |

Para seguridad del tratamiento la cabeza debe mantenerse siempre en movimiento, de forma que la energía ultrasónica se extienda adecuadamente.

Debe rechazarse la rotación de la cabeza en una sola posición, debido a que los picos de intensidad se sitúan habitualmente simétricos al eje longitudinal de la cabeza de tratamiento (la llamada simetría de rotación). La rotación de la cabeza causa picos de intensidad en la misma localización, lo que conduce a sobredosificación. Por medio del método subacuático puede evitarse el campo cercano manteniendo una distancia suficiente al cuerpo (es decir, la longitud del campo cercano), que dependerá del tamaño de la cabeza de tratamiento. De esta forma, los fenómenos de interferencia del campo cercano ocurrirán en el agua. Un inconveniente radica en el diámetro mayor del haz ultrasónico en el campo distante, que origina una disminución de la energía por cm². Estos aspectos deben tenerse en cuenta para calcular la dosis. Con la aplicación usual de la terapia ultrasónica



no se produce reflexión total, debido a que el ángulo de límite es tan grande que no se supera bajo condiciones normales.

Divergencia del haz ultrasónico

La divergencia del haz ultrasónico solo se produce en el campo distante.

La divergencia se determina por el ángulo de extensión (α) (ver fig. 1.3) según la fórmula:

$\text{Seno } \alpha = 1,22 \lambda/D$, donde

λ = longitud de onda del ultrasonido

D = diámetro de la cabeza de tratamiento

Tabla 1.4 Angulos de dispersión a 1 y 3 MHz para varias cabezas de tratamiento

| | | |
|-------|-------------------|-------------------|
| | 5 cm ² | 1 cm ² |
| 1 MHz | 4,2° | 9,3° |
| 3 MHz | 1,4° | 3,1° |

Ya hemos dicho que el campo cercano es más corto para una cabeza de tratamiento pequeña, de forma que la divergencia ocurre antes y la energía ultrasónica se extiende sobre un área mayor. En la tabla queda claro que la divergencia del haz ultrasónico es marcadamente menor a 3 MHz.

1.4 FENÓMENOS FÍSICOS QUE OCURREN EN EL MEDIO

1.4.1 NATURALEZA DE LA ONDA (ULTRA) SÓNICA

La onda ultrasónica es de una naturaleza longitudinal; es decir, la dirección de la propagación es la misma que la dirección de la vibración. Las ondas longitudinales requieren un medio elástico para la propagación. En principio, todos los medios son elásticos a excepción del vacío. Las ondas elásticas longitudinales (= sonido) causan compresión y expansión del medio a la mitad de la distancia de una longitud de onda, conduciendo a variaciones de presión en el medio (fig. 1.6).

Por medio se entiende la sustancia de contacto y los tejidos del cuerpo en los que se propaga la energía ultrasónica.

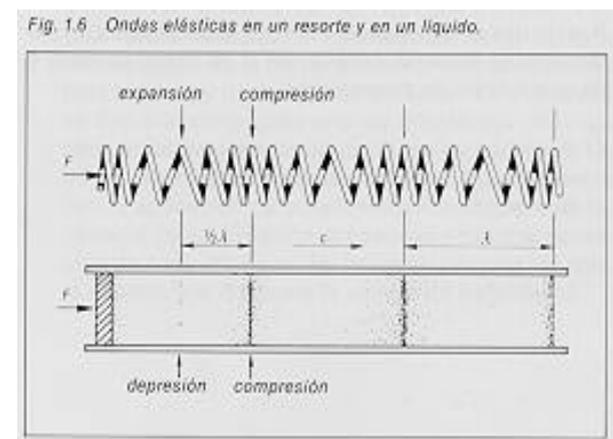


Tabla 1.5. Velocidad de propagación (c), densidad de masa (ρ) y longitud de onda (λ) para ultrasonidos con una frecuencia de 1 MHz y 3 MHz en los diferentes medios.

| Medio | c (m/s) | ρ (kg/m ³) | λ (mm) 1 MHz | λ (mm) 3 MHz |
|------------------|---------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Aluminio | 5.100 | 2,7 x10 ³ | 5,1 | 1,7 |
| Sangre | 1.566 | 1,0 x10 ³ | 1,57 | 0,52 |
| Vaso sanguíneo | 1.530 | 1,1 x10 ³ | 1,53 | 0,51 |
| Tejido óseo | 3.445 | 1,8 x10 ³ | 3,44 | 1,14 |
| Piel | 1.519 | --- | 1,51 | 0,5 |
| Cartílago | 1.665 | --- | 1,75 | 0,58 |
| Aire a 20°C | 343 | 0,0012x10 ³ | 0,34 | 0,11 |
| Tejido tendinoso | 1.750 | --- | 1,75 | 0,58 |
| Tejido muscular | 1.552 | 1,0 x10 ³ | 1,55 | 0,52 |
| Tejido graso | 1.478 | 0,9 x10 ³ | 1,48 | 0,49 |
| Agua a 20°C | 1.492 | 1,0 x10 ³ | 1,49 | 0,5 |

1.4.2 LONGITUD DE ONDA DEL ULTRASONIDO

Se expresa por la relación: $\lambda * f = c$, donde:

λ = longitud de onda (m)

f = frecuencia (Hz)

c = velocidad de propagación (m/s)

Puesto que la frecuencia del equipo se ajusta y la velocidad de la propagación se determina por el medio, la longitud de onda depende también de este último. En las partes blandas y en el agua la longitud de onda a 1 MHz es de aproximadamente 1,5 mm, y en el tejido óseo de alrededor de 3 mm. El efecto sobre la velocidad de propagación en el tejido a 3 MHz es pequeño. Así pues, existe una reducción lineal de la longitud de onda alrededor de 0,5 mm en el tejido blando y alrededor de 1 mm en el óseo.

1.4.3 DENSIDAD DE MASA DEL MEDIO

La densidad de masa del medio (ρ) es un parámetro expresado en kg/m³. Junto con la impedancia acústica específica (Z_s), se determina la resistencia del tejido a las ondas ultrasónicas. La densidad de masa también determina en parte la velocidad de propagación (c). Cuanto mayor la densidad de masa, más alta la velocidad de propagación (ver tabla 1.5). El valor de la intensidad de masa es necesario para determinar la impedancia acústica específica y, en consecuencia, la reflexión.

1.4.4 IMPEDANCIA ACÚSTICA ESPECÍFICA (Z_s)

Puesto que la impedancia acústica específica es un parámetro del material, depende de la densidad de masa y de la velocidad de propagación:

$$Z_s = \rho c$$

Tabla 1.6 Impedancia acústica específica

| Medio | Z_s (kg/m ² s) |
|-----------------|-----------------------------|
| Aluminio | 13,8 *10 ⁶ |
| Sangre | 1,6 *10 ⁶ |
| Hueso | 6,3 *10 ⁶ |
| Vaso sanguíneo | 1,7 *10 ⁶ |
| Gel unos | 1,8 *10 ⁶ |
| Piel unos | 1,6 *10 ⁶ |
| Aire | 0,0004 *10 ⁶ |
| Tejido muscular | 1,6 *10 ⁶ |
| Tejido graso | 1,4 *10 ⁶ |
| Agua (20°C) | 1,5 *10 ⁶ |

1.4.5 COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN DE LOS MEDIOS

El medio (tejido) se comprime y expande de la misma frecuencia que el ultrasonido, es decir, aproximadamente 1.10⁶ veces por segundo. Los cambios de presión resultantes son bastante grandes. Por ejemplo, a una intensidad de 1 W/cm² la variación de presión oscila alrededor de 1,7 bar (a 1 MHz y c = 1.500 m/s).

Con una longitud de onda de 1,5 mm esto implica un gradiente de presión de 3,4 bar a lo largo de una distancia de 0,75 mm, teniendo en cuenta el hecho de que los puntos de presión alta y baja se encuentran separados por la mitad de una longitud de onda. A 3 MHz, y a la misma intensidad de 1 W/cm² la variación de presión es igual. Debido a la atenuación del haz sónico, la variación de la presión disminuye con la profundidad. Sin embargo, puede desarrollarse un gran aumento de presión por interferencia en el campo cercano y reflexión en los diversos límites.

1.4.6 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DEL SONIDO

Reflexión del ultrasonido

La reflexión se produce en los límites entre tejidos diferentes. La cantidad de energía reflejada depende de la impedancia acústica específica (Z_s) de los diversos medios de acuerdo con la fórmula:

$$R = \left\{ \frac{Z_{s1} - Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} \right\}^2 * 100\%$$

R = la cantidad de energía reflejada

Esta fórmula se aplica a un haz sónico con incidencia perpendicular, donde Z_{s1} es la impedancia acústica específica del medio 1 y Z_{s2} la del medio 2, en la superficie límite tomada desde la cabeza de tratamiento.

En la práctica esto significa que la reflexión disminuye al hacerse más pequeña la diferencia entre las dos impedancias acústicas específicas.

En el cuerpo, sólo se produce reflexión significativa (alrededor del 30%) en las transiciones entre tejido blando y hueso. **La impedancia acústica específica de la cabeza de tratamiento del SONOPULS 434 es prácticamente idéntica a la del medio de contacto (gel).**

En consecuencia, apenas existe reflexión entre esos medios. En teoría, la reflexión entre el aluminio y el medio de contacto debe ser alrededor del 60%.

Tabla 1.7 Reflexión en algunos límites de medios

| | |
|---|-------|
| Aluminio – aire | 100% |
| Aluminio – medio de contacto | 60% |
| Cabeza de tratamiento – medio de contacto | Nulo |
| Medio de contacto – piel | 0,1% |
| Piel – tejido graso | 0,9% |
| Agua – tejido graso | 0,2% |
| Tejido graso – tejido muscular | 0,8% |
| Tejido muscular – tejido óseo | 34,5% |
| Piel – aire | 100% |

Refracción del ultrasonido

Además de la reflexión, la incidencia no perpendicular de las ondas sónicas causa refracción del haz sónico de acuerdo con la fórmula:

$$n_{1,2} = c_1 / c_2 \text{ donde:}$$

c_1 = velocidad de sonido en medio 1

c_2 = velocidad de sonido en medio 2

Si $n > 1$, la refracción tiene lugar hacia la perpendicular; si $n < 1$, la refracción se aleja de la perpendicular. Sólo la segunda es significativa debido a deflexión del haz ultrasónico cuando se alcanza el ángulo crítico y el haz ultrasónico toma una dirección paralela a los límites entre los dos medios. La velocidad del sonido en los diversos tejidos corporales es tal, que para aplicaciones normales de los ultrasonidos no se superará el ángulo crítico. La reflexión y la refracción no diferirán apreciablemente a 1 y 3 MHz, debido a que la densidad de masa de los tejidos es constante y el efecto de la frecuencia del sonido sobre la velocidad de propagación es pequeño.

1.4.7 DISEMINACIÓN DEL ULTRASONIDO

La diseminación del ultrasonido en el cuerpo se debe a dos fenómenos:

- Divergencia en el campo distante.
- Reflexión.

Especialmente a causa de la reflexión, el haz ultrasónico puede extenderse en el cuerpo, de forma que pueden aparecer efectos no sólo de la dirección del haz sónico, sino también fuera de ella (ver fig. 1.7).

Como ya hemos señalado, la reflexión sólo debe tenerse en cuenta si se colocan materiales y/o sustancias altamente reflectantes en el haz ultrasónico, como metales, aire y tejido óseo. Además, debe recordarse que el ultrasonido apenas puede salir del cuerpo a consecuencia de la reflexión en el aire, que es prácticamente del 100% (ver tabla 1.7). La dosis total de ultrasonido aplicado al cuerpo se convierte en otra forma de energía. Una excepción es el método subacuático, en el que la energía ultrasónica puede salir del cuerpo.

Si el haz sónico incide en el tejido óseo, la reflexión llega hasta el 30% aproximadamente. Después, el haz es atenuado por absorción de energía dependiendo del grosor de las capas tisulares adyacentes (p. ej., tejido muscular). La energía reflejada entra de nuevo en la capa tisular original y vuelve a ser atenuada por absorción. En el límite entre la piel y el aire se produce reflexión casi completa, de forma que el haz ultrasónico rebota de nuevo entre el tejido óseo y el aire. Es probable que esto resulte cierto para el 70% de la energía sónica propagada en el tejido óseo. El haz sónico experimentará atenuación marcada en el tejido, teniendo en cuenta la absorción muy alta de la energía ultrasónica (ver fig. 1.7).

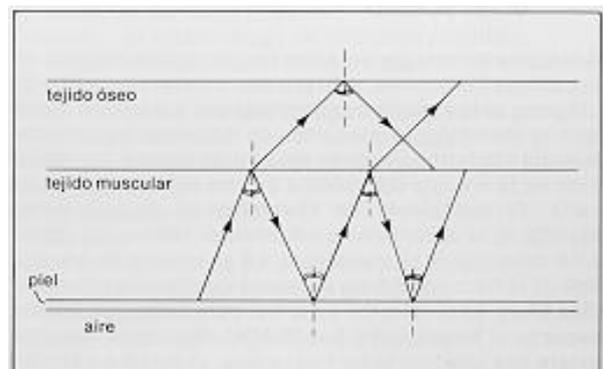


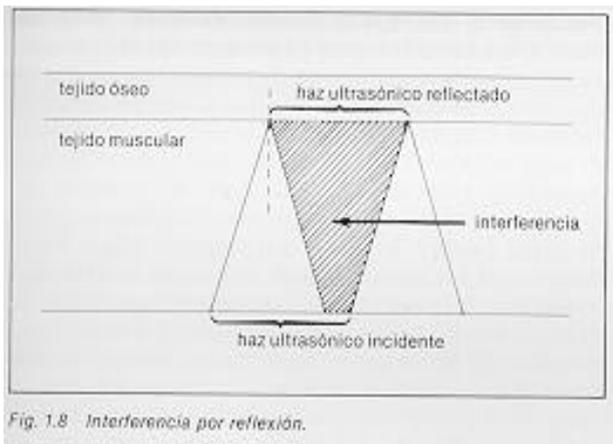
Fig. 1.7 Diseminación del haz ultrasónico por reflexión.

1.4.8 INTERFERENCIA DEL ULTRASONIDO

La interferencia de las ondas ultrasónicas se debe a dos fenómenos:

a) Interferencia en el haz ultrasónico dentro del campo cercano, que conduce a un aumento local de (por lo menos) cuatro veces en la intensidad, comparada con el valor ajustado en el instrumento (ver valor BNR).

b) Fenómenos de interferencia debidos a reflexión. Los haces sónicos incidente y reflejado pueden superponerse, conduciendo a dos movimientos ondulantes que pueden atenuarse o intensificarse entre sí. La interferencia con intensificación conduce a un aumento en la intensidad del haz sónico (ver fig. 1.8). Una forma especial de interferencia es la llamada onda estable. En la práctica, sólo se producen problemas si la capa tisular que se extiende hasta el hueso es fina o absorbe poca energía ultrasónica. Esto sucede en el tratamiento cerca de las muñecas, los tobillos, las rótulas y zonas similares. Especialmente con la aplicación de ultrasonidos continuos, este fenómeno causa irritación del periostio con una sensación de calor y/o dolor. Tal hecho ilustra una vez más la importancia de mover la cabeza de tratamiento.



1.4.9 ABSORCIÓN Y PENETRACIÓN DEL ULTRASONIDO

Conforme la energía ultrasónica (mecánica) penetra en los tejidos corporales, sólo pueden esperarse efectos biológicos si la energía es absorbida por los tejidos. Debido a la absorción, la intensidad de las ondas sónicas disminuirá conforme penetran más en los tejidos. La absorción de la energía ultrasónica por los tejidos biológicos varía. El **coeficiente de absorción (a)** se usa como medida de la absorción en los diversos tejidos. La absorción depende de la frecuencia. La absorción en los tejidos de la frecuencia baja es menor que la de las frecuencias altas. Esta relación es lineal para todos los tejidos excepto el hueso entre 1 y 10 MHz. Por tanto, siempre existe una relación entre frecuencia, absorción y acción en profundidad del ultrasonido. En efecto, el coeficiente de absorción junto con la reflexión determina la extensión del ultrasonido en el cuerpo.

Para los ultrasonidos se aplica también la fórmula siguiente:

$$I(x) = I_0 * e^{-ax}, \text{ donde:}$$

$I(x)$ = intensidad en W/cm^2 a una profundidad x en cm
 I_0 = intensidad en W/cm^2 a nivel de la superficie del cuerpo, pero EN el tejido corporal
 $e = 2,7$ (base de los logaritmos naturales)
 a = coeficientes de absorción (cm^{-1})

Esta fórmula es cierta para los ultrasonidos compuestos por ondas longitudinales con incidencia perpendicular en tejidos homogéneos: Según esta fórmula, la intensidad del ultrasonido a cierta profundidad depende del coeficiente de absorción (a).

Tabla 1.8 Coeficiente de absorción (a) a 1 y 3 MHz (en cm^{-1})

| Medio | Coeficiente de absorción (a) | |
|------------------|------------------------------|--------|
| | 1 MHz | 3 MHz |
| Sangre | 0,028 | 0,084 |
| Vaso sanguíneo | 0,4 | 1,2 |
| Tejido óseo | 3,22 | |
| Piel | 0,62 | 1,86 |
| Cartílago | 1,16 | 3,48 |
| Aire (20 °C) | 2,76 | 8,28 |
| Tejido tendinoso | 1,12 | 3,36 |
| Tejido muscular | 0,76 | 2,28 |
| | 0,28 | 0,84 |
| Tejido graso | 0,14 | 0,42 |
| Agua (20 °C) | 0,0006 | 0,0018 |
| Tejido nervioso | 0,2 | 0,6 |

Como indica la tabla, se usan dos valores para la absorción en el tejido muscular. La diferencia marcada se debe a la dirección del haz sónico en relación con las fibras musculares.

El primer valor se aplica si el haz sónico es perpendicular a las fibras musculares. Esta puede ser la situación más habitual con mucho en la aplicación práctica del ultrasonido.

El segundo valor se aplica si el haz sónico corre paralelo a las fibras musculares. En este último caso, la absorción es casi tres veces más pequeña.

Un valor más práctico relacionado con la absorción es la **profundidad media (D ½)**.

Definición: La profundidad media es la distancia en la dirección del haz sónico a la que la intensidad dentro de un cierto medio disminuye a la mitad.

La profundidad media (D ½) determinada por el coeficiente de absorción puede calcularse por la fórmula:

$$\text{Profundidad media (D } \frac{1}{2}) \approx 0,69/a$$

Tabla 1.9 Profundidad media (D ½) en diversos medios

| | 1 MHz | 3 MHz |
|------------------|----------|-----------|
| Tejido óseo | 2,1 mm | --- --- |
| Piel | 11,1 mm | 4 mm |
| Cartílago | 6 mm | 2 mm |
| Aire | 2,5 mm | 0,8 mm |
| Tejido tendinoso | 6,2 mm | 2 mm |
| Tejido muscular | 9 mm | 3 mm |
| | 24,6 mm | 8 mm |
| Tejido graso | 50 mm | 16,5 mm |
| Agua | 11500 mm | 3833,3 mm |

En la tabla sólo se han incluido los valores con mayor significado práctico.

* Haz perpendicular a las fibras

** Haz paralelo a las fibras

Hasta ahora se han asumido en general que la profundidad media para el tejido muscular oscila alrededor de 3 cm. Esto es correcto si el haz sónico corre paralelo a las fibras musculares, lo que no suele suceder en la práctica.

Si el haz sónico es perpendicular a las fibras musculares -como suele suceder durante el tratamiento- la profundidad media es de 0,9 cm. La mayor absorción tiene como consecuencia una disminución de la acción en profundidad.

Además, puede observarse que gran parte de la energía ultrasónica es absorbida en el tejido tendinoso y el cartílago.

Esto quizá explique los resultados favorables del tratamiento en esos tejidos.

La mayor profundidad a la que puede esperarse un efecto terapéutico se conoce como profundidad de penetración (p). Esta profundidad en el tejido se mide en el punto donde permanece el 10% de la intensidad sónica aplicada.

La intensidad del ultrasonido a la profundidad de penetración determina si puede esperarse efecto terapéutico alguno a ese nivel. El valor de p se calcula aproximadamente por:

$$p \approx 2,3/a$$

Tabla 1.10 Profundidad de penetración en algunos medios

| | 1 MHz | 3 MHz |
|------------------|----------|----------|
| Tejido óseo | 7 mm | --- --- |
| Piel | 37 mm | 12 mm |
| Cartílago | 20 mm | 7 mm |
| Aire | 8 mm | 3 mm |
| Tejido tendinoso | 21 mm | 7 mm |
| Tejido muscular | 30 mm | 10 mm |
| | 82 mm | 27 mm |
| Tejido graso | 165 mm | 55 mm |
| Agua | 38330 mm | 12770 mm |

* Haz perpendicular a las fibras

** Haz paralelo a las fibras

1.5 MEDIO DE CONTACTO

Como se indica en el capítulo 3, es necesario usar un medio de contacto entre la cabeza y el cuerpo para transferir la energía ultrasónica. El aire es totalmente inadecuado como medio de contacto, debido a la reflexión casi completa del ultrasonido. El agua, sin embargo, es un medio de contacto bueno y también barato.

Si se usa agua como medio de contacto, debe desgasificarse lo más posible por ebullición y en algunos casos debe esterilizarse, por ejemplo, para el tratamiento de heridas abiertas. La desgasificación evita el depósito de burbujas de aire en la cabeza de tratamiento y la parte tratada del cuerpo. En la práctica se usan gel, aceite y pomada, a veces con otras sustancias añadidas (ultrasonoforesis), además de agua.

Por un orden al azar, podrían especificarse los requerimientos siguientes para el medio de contacto:

El medio de contacto debe ser:

- Estéril, si existe riesgo de infección (cruzada).
- No demasiado líquido (excepto para el método subacuático).
- No absorbido con demasiada rapidez por la piel.
- Incapaz de causar manchas marcadas.
- Sin efecto marcado de irritación o enfriamiento sobre la piel.
- Químicamente inerte.
- Barato.
- Dotado de buenas propiedades de propagación.
- Carente de (micro) burbujas gaseosas.
- Transparente.
- Carente de microorganismos y hongos.

1.6 PROPIEDADES DE PROPAGACIÓN DE LOS MEDIOS DE CONTACTO

Durante la propagación de la energía ultrasónica al cuerpo se encuentran varios medios y superficies límites: desde la placa transductora al medio de contacto y desde éste al cuerpo. Para la transición entre dos medios se especifica un llamado **factor de transmisión**, que indica la fracción de energía transmitida.

La intensidad de los ultrasonidos indicada en el equipo se especifica para el agua a 5 mm desde la cabeza de tratamiento, y es nula.

Como regla práctica puede suponerse una transmisión del 100% de los ultrasonidos en los tejidos corporales. De acuerdo con los datos actuales sobre pérdidas de transmisión en las sustancias de contacto, los geles que se emplean como medio de contacto no tienen un efecto significativo sobre la cantidad de energía sónica que entra en el cuerpo.

Efectos biofísicos de los ultrasonidos

2.1 INTRODUCCIÓN

Los efectos del ultrasonido no se conocen todavía por completo. Está claro, sin embargo, que la aplicación de ultrasonidos a tejidos biológicos tiene varios efectos. En primer lugar, hay que tener en cuenta que los ultrasonidos son una forma de terapia mecánica. También es evidente que la energía mecánica puede convertirse en energía térmica, por ejemplo, y esto es una consecuencia del efecto mecánico del ultrasonido.

Probablemente la frecuencia de 3 MHz no tiene efectos diferentes que la de 1 MHz, pero es posible que ciertos efectos dominen más según la frecuencia.

En los años 50, Pohlman afirmó que no se observaban otros efectos con los ultrasonidos entre 1 y 10 MHz. La naturaleza especial de los ultrasonidos de 3 MHz consiste, por tanto, en su efecto mecánico mucho mayor y en la absorción más alta de la energía ultrasónica por las capas tisulares superficiales (ver tablas 1.7 y 1.8). Con esa frecuencia se respetan los tejidos más profundos, puesto que la intensidad disminuye mucho a consecuencia de la mayor absorción.

2.2 EFECTO MECÁNICO

El primer efecto que se produce en el tejido corporal a consecuencia del ultrasonido es de naturaleza mecánica. Las vibraciones sónicas requieren un medio deformable elástico para su propagación. En principio, cualquier medio excepto el vacío es deformable. Las vibraciones ultrasónicas causan compresión y expansión en el tejido a la misma frecuencia que el ultrasonido, conduciendo vibraciones de presión. Por tanto, el efecto mecánico también ha sido llamado **micromasaje**. A 3 MHz los puntos de presión máxima y mínima se encuentran más juntos que a 1 MHz, puesto que la longitud de onda disminuye a 0,5 mm aproximadamente.

Debido a la reflexión en el haz sónico y en los límites entre los tejidos, la intensidad en W/cm^2 puede aumentar, de forma que las mayores variaciones de presión se producen en los límites entre dos medios diferentes. Por tanto, puede suponerse que los efectos terapéuticos más pronunciados ocurrirán en los límites. Así pues, la terapia ultrasónica se llama terapia de superficies límites.

Estas diferencias de presión tienen las consecuencias siguientes:

- Cambios en el volumen de las células corporales alrededor del 0,02%.
- Cambios en la permeabilidad de las células y las membranas tisulares.
- Un intercambio mejorado de productos metabólicos.

El micromasaje tiene gran importancia terapéutica. Todos los efectos de la terapia ultrasónica son

causados por él. Estos efectos se obtienen con la energía ultrasónica tanto continua como pulsátil. Dependiendo de la intensidad usada para el tratamiento, estos efectos pueden tener una influencia favorable o desfavorable sobre los tejidos. Los efectos desfavorables se discutirán en el párrafo 2.5 al hablar de los peligros y efectos secundarios.

2.3 EFECTO TÉRMICO

El micromasaje de los tejidos conduce a la generación de calor por fricción. Este efecto térmico se ha descrito con frecuencia en la literatura y es la acción más conocida de los ultrasonidos.

La cantidad de calor generado difiere en los diversos tejidos. Depende de varios factores, algunos de los cuales pueden controlarse parcialmente, como por ejemplo el tipo de ultrasonidos (continuo o pulsátil), la intensidad y la duración del tratamiento. Además, el coeficiente de absorción juega un papel importante (ver tabla 1.8). Según Lehmann, la temperatura aumenta en el tejido muscular de $0,007\text{ }^{\circ}C$ por segundo para los ultrasonidos continuos de $1\text{ }W/cm^2$. Este valor se ha calculado para un "fantasma de músculo", es decir, sin tener en cuenta los efectos reguladores de la circulación sanguínea. Por tanto, parece indicar el valor del aumento máximo de la temperatura en el tejido muscular. En una situación terapéutica con isquemia podría producirse ese aumento marcado de la temperatura y conducir a efectos desfavorables. En un estudio sobre la superficie interna de la rodilla de cerdos, este autor demostró que el aumento de temperatura en las partes blandas era relativamente pequeño en comparación con las estructuras articulares más profundas. Con ultrasonido continuo a $1,5\text{ }W/cm^2$ durante 5 minutos, con una placa transductora de $12,5\text{ }cm^2$, el aumento medio de la temperatura de la cápsula es de $6,3\text{ }^{\circ}C$ y el de los tejidos blandos de $3,3\text{ }^{\circ}C$. La parte interna del menisco muestra un aumento medio de $8,2\text{ }^{\circ}C$, mientras que en el tejido óseo se produce un aumento de $9,3\text{ }^{\circ}C$.

Las mediciones en perros han demostrado que la temperatura de la médula ósea aumenta $0,4\text{ }^{\circ}C$ con $0,5\text{ }W/cm^2$ de ultrasonidos continuos, aplicados en ambos casos durante 5 minutos (Payton y cols., 1975).

El calor se genera especialmente en los puntos de reflexión del ultrasonido. Esta reflexión tiene lugar sobre todo en los límites entre tejidos con distinta impedancia acústica específica. Debido a esta reflexión pueden aparecer fenómenos de interferencia que conducen a un aumento de la intensidad. La reflexión tiene lugar sobre todo en el tejido óseo (35%). La generación de calor a consecuencia del aumento de intensidad es marcada en el periostio y puede conducir a dolor perióstico. Este problema tiene mucha menos importancia cuando se usa energía ultrasónica pulsátil, debido a que el calor generado se disipa total o parcialmente entre los impulsos. Así pues, el efecto térmico es bajo.

Para resumir:

- Debido a las diferencias en el coeficiente de absorción;
- Como consecuencia de la reflexión en los límites tisulares y;
- Como resultado de los picos y valles de interferencia, la generación de calor en el campo ultrasónico no será uniforme.

Al mantener en movimiento la cabeza de tratamiento se intenta minimizar esta desuniformidad. La distribución del calor en los diversos tejidos es única en comparación con otras formas de tratamiento, como la onda corta y la termoterapia.

El calor se genera especialmente en el tejido óseo, el cartílago, los tendones, el tejido muscular y la piel.

Puesto que el haz ultrasónico es casi paralelo, el área donde ocurre el efecto térmico corresponderá aproximadamente al tamaño de la cabeza de tratamiento (ERA). Si se espera que el calor tenga un efecto favorable sobre la curación de las lesiones en los tejidos mencionados más arriba, está indicada la terapia ultrasónica en forma continua. Tiene importancia asegurar que el paciente note como máximo un efecto térmico pequeño. A intensidad alta (más de 2 W/cm^2) y con la forma continua de ultrasonidos, se produce un aumento marcado de la circulación sanguínea con el fin de mantener la temperatura corporal lo más constante posible. Se ha señalado que una intensidad menor puede favorecer también la circulación. Nos ocuparemos más adelante de los mecanismos causales. El significado del calor como parte de la terapia ultrasónica ha sido objeto de diversas evaluaciones. Muchas enfermedades presentan un trastorno circulatorio. El cuerpo es incapaz con frecuencia de disipar el calor generado por los ultrasonidos. Esto conduce a un aumento de la temperatura que puede tener un efecto adverso sobre la enfermedad. En caso de una lesión aguda, por ejemplo un esguince en el tobillo, el calor generado (en combinación con la irritación mecánica) puede tener un efecto adverso sobre los vasos sanguíneos en regeneración. Se produce hemorragia con facilidad. Por tanto, es aconsejable esperar un par de días antes de iniciar la terapia ultrasónica local en tales casos. Desde el punto de vista reumatológico, también hay que considerar las posibles consecuencias del aumento de temperatura intraarticular.

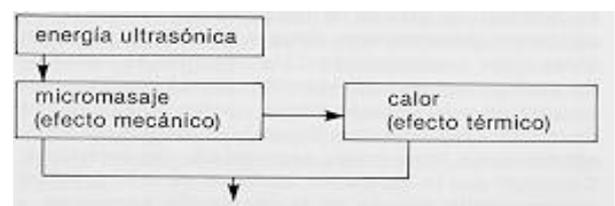
El calor generado en la artritis tiene un efecto nocivo sobre la estructura articular interna, especialmente el cartílago articular. Las fibras colágenas del cartílago hialino son destruidas y sustituidas por otras de inferior calidad. La enzima colagenasa inicia este proceso y otras enzimas participan en la destrucción de la articulación. Este proceso se manifiesta sobre todo en las inflamaciones articulares (incluyendo la artritis reumatoide y la artrosis, caracterizadas frecuentemente por sinovitis).

Así pues, la terapia ultrasónica que conduce a un aumento de la temperatura intraarticular, está contraindicada sobre todo en los trastornos donde la temperatura ya es mayor de lo normal. Se plantea la interesante pregunta de si se sabe algo en relación con el efecto del calor sobre fibras colágenas distintas a las del cartílago hialino. Viidik y cols han demostrado que bajo la influencia del calor puede producirse un ablandamiento de las fibras colágenas en los tendones y las cápsulas articulares, conduciendo a hiper movilidad. La capacidad de caga de las fibras formadas recientemente sólo se hace óptima si se usa también la cinesiterapia específica.

A pesar de todo, es incorrecto el negar que la generación de calor tenga algún valor. Lehman ha demostrado que el aumento de temperatura es un factor importante en el desarrollo de algunos procesos fisiológicos.

2.4 EFECTOS BIOLÓGICOS

Como ya hemos dicho, los efectos de la terapia ultrasónica constituyen un resultado del micromasaje (efecto mecánico). Dependiendo de la forma, continua o pulsátil, este micromasaje conduce a un predominio del efecto térmico o de otros efectos. Los siguientes efectos biológicos pueden considerarse una respuesta fisiológica a las acciones mecánicas y térmicas mencionadas.



- Favorece la circulación sanguínea
- Relajación muscular
- Aumento de permeabilidad de la membrana
- Aumento de la capacidad regenerativa de los tejidos
- Efecto sobre los nervios periféricos
- Reducción del dolor
- Otros efectos

Estimulación de la circulación sanguínea

La posibilidad de favorecer la circulación sanguínea mediante los ultrasonidos se menciona en muchas publicaciones. La absorción de la energía ultrasonica origina un efecto térmico y el cuerpo responde con vasodilatación. Tiene importancia recordar que el efecto térmico no se limita a la forma continua de ultrasonidos. Los ultrasonidos pulsátiles también producen un efecto térmico, aunque mucho menor. La vasodilatación a consecuencia del tratamiento con ultrasonidos puede considerarse en parte como un fenómeno protector destinado a mantener la temperatura corporal dentro de los límites más estrechos posibles.

La vasodilatación está causada por:

- a. Liberación de estimulantes tisulares. Esto es una consecuencia del año celular causado por la vibración mecánica.
- b. Estimulación, posiblemente directa, de las fibras nerviosas aferentes (¿gruesas mielinizadas?). Esto conduce a depresión postexcitatoria de la actividad ortosimpática.
- c. Reducción del tono muscular como resultado del mecanismo sobredicho.

Aunque varios autores han demostrado un efecto reflejo de los ultrasonidos, todavía no está claro cuáles son las fibras aferentes estimuladas.

El aumento del tono muscular conduce a dificultad de la circulación sanguínea con elevación simultánea de las demandas de energía por el tejido hipertónico.

Así pues, la concentración de estimulantes tisulares aumenta con bastante rapidez, elevando la actividad aferente nociceptiva de las fibras nerviosas finas. Las consecuencias de esto son: aumento del dolor, aumento del tono muscular y mayor trastorno de la circulación. Para romper este círculo vicioso, el favorecer la circulación será evidentemente un paso importante hacia la recuperación. Becker, entre otros autores, ha demostrado la posibilidad de favorecer la circulación sanguínea por vía refleja utilizando los ultrasonidos. Describió una circulación mejorada, sobre todo en los vasos sanguíneos distales de pacientes con desórdenes vasculares, a consecuencia de la terapia ultrasónica aplicada segmentariamente.

Pohlmann recomienda la inclusión rutinaria de la terapia segmentaria en el plan de tratamiento, además de la terapia local de los trastornos.

En la literatura, esto se refiere casi exclusivamente a la aplicación **paravertebral**, aunque también pueden ser útiles otras localizaciones. Lota describió el efecto de los ultrasonidos de baja intensidad ($0,5-1 \text{ W/cm}^2$) sobre la circulación sanguínea periférica y sobre la temperatura de la piel y los músculos. Estudió los efectos del tratamiento tanto local como segmentario (paravertebral). Concluyó que la aplicación continua de sólo 1 W/cm^2 proporcionaba mejoría de la circulación sanguínea, y aumento de la temperatura de la piel y los músculos en la aplicación local. La aplicación paravertebral proporcionó mejoría de la circulación cutánea.

Por otro lado, el efecto de los ultrasonidos sobre los vasos sanguíneos ha sido objeto de controversia. Algunos autores observaron vasodilatación, mientras que otros describieron vasoconstricción. En un notable estudio de Hogan y cols se obtuvo más luz sobre el significado de estos resultados, aparentemente conflictivos, obtenidos por diferentes autores. Se señala que el efecto de los ultrasonidos (sobre las arteriolas de los músculos esqueléticos) conduce habitualmente a vasoconstricción. Es muy interesante un fenómeno descrito por estos autores.

En la mayoría de los tejidos, las arteriolas ni están en reposo bajo condiciones fisiológicas normales, sino que muestran movimientos peristálticos lentos (2-3 por minuto). Con la aplicación de ultrasonidos pulsátiles, la frecuencia de este movimiento vascular aumenta mucho (hasta 31 por minuto). Un hallazgo interesante radica en que la frecuencia de estos movimientos vasculares apenas aumenta (7-8 por minuto) con el calentamiento ordinario de los tejidos.

Los autores señalan que tales movimientos de las paredes arteriolas tienen más importancia para la nutrición de los tejidos que la dilatación arteriolar sola.

Relajación muscular

En el párrafo previo se ha señalado que la mejoría de la circulación sanguínea puede conducir a relajación muscular por eliminación de los estimulantes tisulares. Además, es posible que los ultrasonidos estimulen directamente las fibras nerviosas aferentes y que la relajación muscular sea consecuencia de la depresión postexcitatoria de la actividad ortosimpática.

Intensificación de la permeabilidad de las membranas

Se han demostrado que las vibraciones ultrasónicas aumentan la permeabilidad de las membranas. Este efecto se observa con la aplicación de ultrasonidos tanto continuos como pulsátiles. A consecuencia de las vibraciones mecánicas, el fluido tisular es forzado a través de la membrana celular. Esto puede alterar la concentración de los iones, lo que podría conducir a variaciones de la excitabilidad celular. Se observa a un aumento del flujo protoplásmico en las células, de forma que se favorecen los procesos de intercambio fisiológicos. Debido a la circulación del fluido tisular, el pH se hace menos ácido. Esto se conoce como efecto antiacidótico de los ultrasonidos y tiene utilidad en el tratamiento de la inflamación reumatoidea (reumatismo de tejidos blandos), en la que existe acidosis tisular (ver párrafo 2.2).

Estimulación de la capacidad regenerativa tisular

Se ha demostrado que los ultrasonidos favorecen el proceso de regeneración en varios tejidos. Dyson y Pond describieron el efecto de los ultrasonidos sobre pequeñas heridas inducidas artificialmente en las orejas de conejos. El efecto favorable de los ultrasonidos sólo fue igualado por el de los fármacos. La intensidad más efectiva fue la de $0,5 \text{ W/cm}^2$ con aplicación pulsátil (1:5) a una frecuencia de 3,5 MHz. Los estudios de microscopía electrónica demostraron que las fuerzas mecánicas producían un flujo de partículas con movimiento libre. El efecto térmico juega un papel secundario en este proceso.

Efecto sobre los nervios periféricos

Algunos autores suponen que los ultrasonidos pueden depolarizar las fibras nerviosas aferentes. Esto sucede evidentemente cuando se elige una intensidad que proporcione estimulación suave. Todavía no está claro como ni en que cuantía pueden actuar directamente los ultrasonidos sobre las fibras nerviosas a intensidades inferiores, ni cuáles son las fibras nerviosas aferentes excitadas. Es probable que la presión sónica no sea responsable de este fenómeno, puesto que la presión neta es casi cero y la frecuencia de los cambios de presión es tan alta que los mecanosensores no pueden reaccionar a ella.

También se ha señalado que la depolarización de muchas fibras nerviosas aferentes es un fenómeno oscuro, y que todavía no se conoce la función de muchas de tales fibras.

Se ha demostrado que los ultrasonidos continuos con una intensidad de $0,5-3 \text{ W/cm}^2$ afectan la velocidad de conducción de los nervios periféricos. Se han descrito tanto el aumento como la disminución de la velocidad de conducción. Casi sin excepción, esta alteración ha sido atribuida al efecto térmico. No se cree que el aspecto mecánico tenga importancia en este contexto. Con intensidades mayores puede producirse bloqueo de la conducción. Aunque esto no se evidencia específicamente en la tabla 1.8, el tejido nervioso muestra sensibilidad especial al efecto del ultrasonido. En un estudio sobre el efecto de los ultrasonidos continuos durante 5-10 minutos con una intensidad de $2-3 \text{ W/cm}^2$, sobre el nervio ciático, se encontró desde tumefacción de los cilindros axónicos, hasta sección total del nervio. Con una intensidad menor ($0,25-0,5 \text{ W/cm}^2$) la vaina de mielina mostró cambios mínimos que se hacían más serios con la aplicación repetida.

En el sistema nervioso central también puede demostrarse un efecto de los ultrasonidos. Se ha encontrado aumento de la liberación de serotonina, cuyo significado no está todavía claro.

Reducción del dolor

La experiencia demuestra que la terapia ultrasónica proporciona una reducción del dolor difícil de explicar. Tal dificultad se debe a la complejidad de los procesos que conducen a la sensación de dolor. Además, se sabe poco en relación con el efecto de la energía ultrasónica sobre la sensación dolorosa.

Sin embargo, pueden sugerirse algunos factores que contribuyen a la reducción del dolor:

Mejoría de la circulación tisular

El efecto favorable de la circulación sanguínea mejorada ya se ha discutido en el párrafo 2.4. La mejoría de la circulación conduce a mejor drenaje de los irritantes tisulares (mediadores del dolor), de forma que se excitan menos fibras nerviosas nociceptivas.

Normalización del tono muscular

Puesto que existe menos excitación química de los aferentes musculares, disminuye el tono reflejo.

Reducción de la tensión tisular

La mejoría de la circulación sanguínea (y linfática) tiene un efecto favorable sobre la reabsorción del fluido de edema. La reducción del edema conduce a caída de la tensión tisular, lo que proporciona a su vez una reducción del dolor y favorece la circulación tisular.

Reducción del pH

La mejora de la circulación conduce a un aumento del pH tisular. No sabemos con exactitud por qué esto proporciona una disminución del dolor.

Estimulación de las fibras nerviosas aferentes

Es posible que los ultrasonidos puedan depolarizar directamente las fibras nerviosas aferentes (¿gruesas?). Como en el caso de la electroterapia, esto puede conducir a disminución del dolor.

2.5 OTROS EFECTOS

Se han observado otros efectos a consecuencia de la aplicación de ultrasonidos. Por ahora no está claro su significado terapéutico, aunque se sabe que muchos efectos de esta categoría tienen una influencia negativa.

Daño tisular

Aunque el uso de los ultrasonidos pulsátiles ha disminuido el efecto térmico, debe recordarse que la intensidad alta causa una marcada carga mecánica del tejido. Esto puede conducir incluso a daño tisular. Las diferencias de presión extremas que se desarrollan a consecuencia de la exposición a los ultrasonidos, pueden causar cavitación en el tejido. Aunque la salida de los equipos actuales es tal que ese fenómeno rara vez o nunca puede producirse, resulta aconsejable ajustar la intensidad de forma que el paciente *no* sienta una excitación *dolorosa*.

Estasis de las células sanguíneas

Dyson y Pond describieron estasis de las células sanguíneas en los vasos de curso paralelo al haz ultrasónico tras la aplicación de ultrasonidos a embriones de gallina. La energía mínima con la que se produjo este fenómeno fue de $0,5 \text{ W/cm}^2$ de ultrasonidos continuos. El fenómeno se mostró en general reversible. La circulación no experimentó trastorno después de concluir la experiencia.

El movimiento continuo de la cabeza de tratamiento parece suficiente para eliminar este fenómeno.

Otros efectos secundarios descritos

- Reducción del nivel de glucosa en sangre
- Fatiga
- Nerviosismo
- Irritación
- Anorexia
- Estreñimiento
- Tendencia a los resfriados

Se cree que todos estos efectos secundarios se deben a la sobredosificación.

CAPÍTULO 3

Técnica

3.1 MODOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y MANIPULACIÓN DE LA CABEZA DE TRATAMIENTO

La transferencia de energía puede asegurarse en principio de dos formas.

3.1.1 CONTACTO DIRECTO ENTRE LA CABEZA Y EL CUERPO

Este modo de transferencia de energía es el usado con más frecuencia. La cabeza de tratamiento se aplica directamente sobre la piel. Se sabe que el aire refleja casi por completo los ultrasonidos. Por tanto, es absolutamente necesario asegurar la aplicación de un medio altamente conductor entre la cabeza y la piel. Para los requisitos de este medio, ver párrafo 1.5.

En principio, el agua es un medio excelente y barato que cumple los requisitos. Sin embargo, la aplicación plantea con frecuencia dificultades prácticas. El tratamiento subacuático se limita por tanto a ciertos campos e indicaciones específicos, como veremos más adelante. Los muchos tipos de medios de contacto disponibles en la actualidad para transmisión de los ultrasonidos, pueden clasificarse así:

- Aceites
- Emulsiones agua-aceite
- Geles acuosos
- Pomadas

Los geles son los más adecuados para la transmisión de los ultrasonidos. El gel debe ser disuelto en parte por las sales cutáneas, de forma que pueda frotarse con efectividad en la piel (poros). Algunos fabricantes añaden un medicamento al medio de contacto, frecuentemente una sustancia que favorezca la circulación sanguínea (geles inductores de hiperemia).

El SONOPULS 434 incluye una cabeza de tratamiento normal con un área alrededor de 5 cm^2 y una cabeza pequeña con un área alrededor de 1 cm^2 .

La ventaja de esta cabeza pequeña radica en que permite tratar correctamente las partes corporales de forma irregular, como la mano, la muñeca y el tobillo, y ciertas estructuras como el tendón de Aquiles, puesto que la cabeza pequeña establece contacto completo con la parte del cuerpo afecta.

La cabeza de tratamiento tiene un sistema de monitorización (óptico) que avisa si la energía ultrasónica difiere demasiado del valor ajustado. Si la cantidad de energía ultrasónica que llega al tejido se hace inferior al 80% de la intensidad ajustada, la intensidad se reduce automáticamente a $0,05 \text{ W/cm}^2$. Como regla, el cronómetro se para si la transferencia de energía es insuficiente y vuelve a ponerse en marcha cuando se hace suficiente. Así el instrumento suministrará de forma automática la intensidad ajustada

inicialmente. De esta forma se usa con efectividad el tiempo ajustado para el tratamiento.

3.1.2 TRATAMIENTO BAJO EL AGUA

Si la superficie del cuerpo es de forma muy irregular, lo que dificulta el buen contacto entre la cabeza de tratamiento y la piel, puede elegirse el método llamado *subacuático* o el tratamiento con la pequeña cabeza mencionada más arriba. El tratamiento subacuático también puede usarse si no es posible el contacto directo debido, por ejemplo, al dolor.

La parte del cuerpo en cuestión se sumerge en un recipiente lleno de agua a temperatura agradable. La cabeza de tratamiento también se sumerge y se coloca a cierta distancia de la parte a tratar. Preferiblemente, el agua debe haberse hervido antes, puesto que de otra forma el aire presente podría depositarse en forma de burbujas sobre la placa transductora y la piel del área tratada. Como se sabe, el aire dificulta mucho la transferencia de energía; por tanto, siempre deben eliminarse las burbujas de aire. Ciertas áreas del cuerpo son difíciles de tratar, por ejemplo la superficie inferior de los dedos del pie. En tales casos puede usarse una *placa metálica*, colocada en el fondo del recipiente, que reflejará el ultrasonido para que llegue al área corporal desde abajo. Esta técnica requiere un cierto sentido de la geometría. Aunque la literatura menciona con frecuencia un espejo como superficie reflectante, es preferible usar una placa metálica teniendo en cuenta la reflectividad más alta del metal.

Una tercera técnica para el tratamiento de superficies con forma irregular es la llamada *almohadilla de agua*. Se trata de una bolsa de plástico o de goma llena hasta las tres cuartas partes con agua hervida y enfriada. La bolsa se adapta íntimamente sobre el área a tratar. La cabeza de tratamiento y el lado de la bolsa en contacto con la piel se cubren con una cantidad suficiente de medio de contacto y después se aplica la cabeza a la bolsa. Sin embargo, se produce una pérdida apreciable de energía. La introducción de la cabeza de tratamiento pequeña ha convertido en prácticamente superflua la técnica mencionada.

3.1.3 MANIPULACIÓN DE LA CABEZA SÓNICA

En el haz ultrasónico se distinguen dos áreas (ver capítulo 1). La reducción de la intensidad a consecuencia de la absorción en el cuerpo es tal, que la mayor parte de los efectos tienen lugar en el campo cercano. Esta región se caracteriza por diferencias marcadas en la intensidad. Los picos de intensidad resultantes pueden causar lesiones tisulares, térmicas y mecánicas. El fenómeno es más marcado con 3MHz. Aunque la distribución de la energía en el *campo distante* muestra picos de intensidad menores, la intensidad más alta se mide todavía en el centro del haz ultrasónico. Los picos de energía que se producen

en las membranas que separan capas tisulares distintas, pueden causar calentamiento excesivo de áreas relativamente pequeñas (hot spots = puntos calientes).

Para asegurar el tratamiento más uniforme posible de un área, *es necesario mantener la cabeza de tratamiento en movimiento continuo y uniforme*. De esta forma cambia continuamente la posición de las variaciones de intensidad. El movimiento de la cabeza de tratamiento – llamado a veces *método dinámico* – también es necesario para evitar cambios en la circulación sanguínea. Los ultrasonidos pueden causar estasis de las células sanguíneas en los vasos paralelos al haz ultrasónico.

Con el método subacuático, la cabeza de tratamiento puede mantenerse a cierta distancia del cuerpo que corresponde por lo menos a la longitud del campo cercano. De esta forma, las variaciones mayores de la intensidad se producen en el agua y no en el cuerpo. Tal hecho sugiere que esta técnica merece aplicación más amplia de la que ha tenido hasta ahora. Debe señalarse, sin embargo, que debido a la reflexión en las paredes del recipiente, el ultrasonido puede volver al cuerpo. Esto también implica que el terapeuta no debe mantener sus manos dentro del recipiente.

La cabeza de tratamiento puede moverse de dos formas:

- Por medio de *movimientos cortos*, de pocos centímetros, que se superponen para asegurar el tratamiento uniforme del área.
- Por medio de *pequeños movimientos circulares*. Estos movimientos también deben superponerse conduciendo a un movimiento prácticamente espiral.

En ambos casos el movimiento debe ser muy lento.

Aunque se estén tratando áreas relativamente pequeñas, como puntos “trigger”, porciones de cicatrices y partes de tendones, el movimiento continuo es necesario aunque sea muy pequeño.

Por lo dicho es evidente que debe abandonarse el tratamiento con una cabeza de tratamiento estacionaria (conocido antes como *método estático*). Ahora se usa la expresión *método semiestacionario* es este contexto.

3.2 PUNTOS DE APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO

Como sucede con todas las demás formas de fisioterapia, los ultrasonidos pueden usarse para tratar los tejidos. Estos pueden estar situados en el lugar de la aplicación misma (= efecto directo) o en otros lugares dentro del segmento (= efecto indirecto). En la literatura, el efecto indirecto se conoce frecuentemente como “tratamiento segmentario” y se refiere la mayoría de las veces a la aplicación *paravertebral*. Otras localizaciones dentro del mismo segmento también son adecuadas para el tratamiento segmentario. Por ejemplo, los puntos “trigger” de las costillas (periostio) en pacientes con úlceras gástricas e intestinales, también constituyen típicos puntos de aplicación para el tratamiento segmentario.

Los ultrasonidos sólo pueden tener un efecto terapéutico si son absorbidos. Está claro que los

puntos de aplicación del tratamiento son especialmente los situados en tejidos que reciben una cantidad suficiente de energía y que tienen un coeficiente de absorción aceptable (ver tabla 1.8). Por tanto, son puntos de aplicación importantes el tejido óseo, el cartilago, los tendones, los músculos y la piel. Los tejidos mencionados más arriba constituyen puntos de aplicación para la terapia ultrasónica, dado su coeficiente de absorción favorable.

Aunque el tejido nervioso absorbe relativamente poca energía, se muestra muy sensible a la energía ultrasónica. El objetivo puede consistir en un efecto directo o indirecto.

Algunos autores recomiendan la combinación de aplicación local y paravertebral en todos los casos. Esta es la antigua línea “somática” de razonamiento, según la cual para un paciente con síntomas en el codo, por ejemplo, el tratamiento local debe combinarse con tratamiento a los niveles paravertebrales C6-Th1.

Este concepto ha sido suplantado por la filosofía “anatómica”. Por lo que respecta a la aplicación paravertebral, esto implica que se tratarán también (o exclusivamente) los niveles C8-Th9.

El efecto sobre los sitios de relación encontrados en esos niveles puede conducir a depresión postexitatoria de la actividad ortosimpática. Además de las localizaciones más o menos específicas de los puntos “trigger”, mediante el masaje perióstico se detectan otras localizaciones candidatas para un efecto indirecto.

3.3 DOSIFICACIÓN

3.3.1 INTRODUCCIÓN

La dosis es el producto de la fuerza del estímulo (intensidad) y la duración del tratamiento.

Sin embargo, al aplicar energía ultrasónica debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) Posibilidad de tratamiento con dos frecuencias: cuanto mayor la frecuencia, más alta la energía.
- b) Posibilidad de interrupción periódica de la oscilación. Dentro del mismo periodo, el ultrasonido pulsátil conduce a una dosis menor que el continuo.
- c) En la mayoría de los instrumentos, la intensidad se expresa como potencia por área superficial (W/cm^2).
- d) Uso de cabezas de tratamiento con distintos tamaños. La dosis es también diferente.

A continuación discutiremos los factores de intensidad y duración del tratamiento.

3.3.2 INTENSIDAD

La intensidad se expresa en W/cm^2 . El SONOPULS 590 permite el uso de ultrasonidos continuos de hasta $2 W/cm^2$ y ultrasonidos pulsátiles de hasta $3 W/cm^2$. Cuando se usa la cabeza grande con área (ERA) DE $5 cm^2$, la generación de potencia máxima del instrumento es, por tanto, de 15 W. Con la cabeza pequeña (ERA $0,8 cm^2$) la potencia máxima liberada es de 2,4 W. Como área de la cabeza de tratamiento debe entenderse siempre el **área de radiación efectiva**

(ERA), no el área de la placa transductora (ver capítulo 1).

Las opiniones sobre la intensidad a aplicar difieren mucho. Lehman defiende la producción de una potencia alta, mientras que Edel y Lange afirman que una potencia baja proporciona mejores efectos. Conradi considera que una intensidad de $0,6 \text{ W/cm}^2$ es alta para los ultrasonidos continuos bajo ciertas circunstancias.

Esas cifras se refieren a la intensidad *en el lugar del tejido afecto*.

Por tanto la energía aplicada en la superficie corporal debe ser muchas veces considerablemente mayor. Se plantea la cuestión de si las capas tisulares superficiales podrían exponerse a una intensidad inaceptablemente alta.

Los valores mencionados se han encontrado empíricamente a lo largo de los años, y la experiencia se obtuvo sobre todo con frecuencias ultrasónicas entre 800 kHz y 1 MHz. Sobre bases teóricas se supone que la intensidad terapéutica es menor a 3 MHz que a 1 MHz. Esta conclusión se basa principalmente en la mayor absorción y el mayor efecto mecánico de los ultrasonidos a 3 MHz.

En cualquier caso, el paciente no puede sentir sensaciones desagradables que lleguen al dolor durante el tratamiento. Es permisible una sensación leve de excitación. Si a consecuencia del tratamiento aparecen cefaleas, vértigos, fatiga y/o otras reacciones (del sistema nervioso), la terapia posterior debe administrarse con una intensidad más baja.

Cuando se emplean ultrasonidos continuos o pulsátiles de alta intensidad *puede* sentirse una sensación de calor. Sólo es aceptable una sensación de calor leve. Si se tiene en cuenta la regla de Arndt-Schultz está claro que, en general, la intensidad de la energía ultrasónica aplicada debe ser baja.

Se ofrecen las guías siguientes para los ultrasonidos continuos:

| | |
|---------|---|
| < 0,3 | W/cm^2 es una intensidad baja |
| 0,3-1,2 | W/cm^2 es una intensidad media |
| 1,2-3 | W/cm^2 es una intensidad alta |

En el caso de los ultrasonidos pulsátiles debe considerarse el valor medio. Por ejemplo, el ultrasonido pulsátil de 1 W/cm^2 en posición 1:5 equivale al ultrasonido continuo de $0,2 \text{ W/cm}^2$. Esto se aplica de forma aproximada para el efecto térmico de ultrasonido. Sin embargo, también debe tenerse en cuenta la intensidad máxima de los impulsos debido al efecto mecánico.

3.3.3 LIBERACIÓN DE ENERGÍA

La liberación de energía puede ser continua o pulsátil. Los ultrasonidos pulsátiles pretenden evitar los efectos de la generación de calor. Para los aspectos físicos puede consultarse el capítulo 1.

Además de eliminar el efecto térmico, se pretende intensificar el efecto mecánico. Summer y Patrick, así como Edel, mencionan la sensibilidad específica de las fibras nerviosas a la energía pulsátil. Edel también señala que los ultrasonidos pulsátiles tienen mayor efecto relajador muscular que los continuos. Con una frecuencia de 3 MHz estos efectos específicos de la aplicación pulsátil son todavía mayores.

Algunos instrumentos permiten variar la relación tiempo del impulso–duración de la pausa (ver capítulo 1). La reducción de la dosis – y en consecuencia del calor generado – para los ultrasonidos pulsátiles, permite aumentar la intensidad de la superficie corporal y por tanto el efecto del tratamiento en estructuras tisulares más profundas. Sin embargo, no deben olvidarse los posibles adversos, como discutimos en capítulos previos.

3.3.4 DURACIÓN DEL TRATAMIENTO

Las opiniones expuestas en la literatura sobre la duración del tratamiento también son variables. La duración del tratamiento depende del tamaño del área corporal tratada.

Lehmann fija una duración máxima de 15 minutos. Esto se refiere a un área tratada de $75\text{-}100 \text{ cm}^2$, que él considera como la superficie máxima que puede tratarse razonablemente (ver capítulo 5). Como es natural, la ERA de la cabeza tiene importancia a este respecto.

Las áreas no mayores que la cabeza de tratamiento se tratan en general durante pocos minutos (3-5 minutos) usando el método semiestático. Las áreas mayores tratadas con el método dinámico requieren una duración más prolongada del tratamiento.

3.3.5 COMIENZO Y FRECUENCIA DEL TRATAMIENTO

De hecho, la frecuencia del tratamiento no es una parte de la dosis sino una consecuencia. El *comienzo* de la terapia ultrasónica para el traumatismo agudo suele fijarse 24-36 horas después de la lesión.

La razón consiste en que el tratamiento directo (local) mediante energía ultrasónica podría dañar los vasos sanguíneos en recuperación.

Sin embargo, además de otras aplicaciones fisiotécnicas como la crioterapia y la onda corta pulsátil, puede considerarse la aplicación indirecta de ultrasonidos o el tratamiento del área alrededor de la lesión para favorecer la circulación regional.

El carácter *agudo* de la condición determina la dosis y ésta determina la frecuencia del tratamiento. Los trastornos muy agudos deben tratarse *por lo menos una vez al día*. Los procesos más crónicos, en general menos severos, deben tratarse 2 ó 3 veces por semana.

3.4 MÉTODO

Antes del tratamiento

- El terapeuta comienza tomando la historia relacionada con la terapia ultrasónica e investiga las contraindicaciones absolutas y relativas.
- El paciente es *informado* del tratamiento y de sus objetivos.
- Se localiza con la mayor exactitud posible el lugar del trastorno.
- Después, el terapeuta prueba la sensibilidad térmica.
- Entre tanto, el terapeuta habrá elegido entre contacto directo, o el método subacuático. Y el medio de contacto o el agua se temple hasta la temperatura correcta.
- El paciente se coloca en una posición inicial correcta, lo más relajado y con el menor dolor posible.
- La piel del área en cuestión se limpia (eliminación de la grasa) con jabón o alcohol al 70% para permitir una transmisión óptima del ultrasonido. Si la piel es hirsuta, resulta preferible afeitarla.
- Se cubren las partes del cuerpo no tratadas para evitar el enfriamiento.

Durante el tratamiento

- Después, el terapeuta fija los parámetros en el instrumento; por ejemplo:
 - ρ la frecuencia, 1 ó 3 MHz
 - ρ ultrasonido pulsátil (incluyendo duración del impulso e intervalo entre los impulsos)
 - ρ intensidad
- Se aplica el medio de contacto al área que debe tratarse. En el caso del método subacuático, la parte a tratar se sumerge en agua a una temperatura agradable. Se eliminan las burbujas de aire de la piel.
- Entre tanto, el terapeuta ha elegido la cabeza de tratamiento pequeña o grande y la aplica a la piel en el caso del método subacuático, a una distancia desde el cuerpo por lo menos tan grande como el campo cercano. Esto depende de la frecuencia y el tamaño de la cabeza de tratamiento.
- Se ajusta la duración del tratamiento.
- La cabeza de tratamiento se mantiene en movimiento continuo lento, también en el método semiestático.
- Se pregunta con regularidad al paciente sobre las sensaciones que siente. Si es necesario, se modifica el tratamiento; puede reducirse la intensidad o cambiarse del modo continuo al pulsátil.
- Si existen indicios de transferencia pobre de la energía ultrasónica, puede renovarse el medio de contacto o puede moverse con la cabeza de tratamiento. Sobre todo en el caso de pacientes con piel seca (escamosa), debe añadirse con regularidad medio de contacto.

Después del tratamiento

- Se desconecta el equipo.
- Se limpian la piel del paciente y la cabeza de tratamiento. El medio de contacto residual puede limpiarse con facilidad mediante una toalla o tisú. La cabeza de tratamiento se limpia también con alcohol al 70%.
- Se comprueban los efectos esperados (p.ej., sobre el dolor, la circulación y la movilidad). Se presta atención a la aparición de efectos secundarios.
- Se pide al paciente que comente cualquier reacción que haya experimentado.

CAPÍTULO 4

Aplicaciones especiales de los ultrasonidos

4.1 TERAPIA COMBINADA

En fisioterapia, el término "terapia combinada" se refiere a la aplicación simultánea de ultrasonidos y estímulos eléctricos de frecuencia baja o media.

La combinación de estímulos sólo es útil si:

- Tiene un efecto diferente de los estímulos por separado. Estos efectos deben tener valor diagnóstico y/o terapéutico.
- Ahorra tiempo, debido a que en otro caso tendrían que aplicarse por separado para obtener los mismos efectos de los distintos estímulos.

4.1.1 COMBINACIÓN DE ULTRASONIDOS CON ELECTROTERAPIA DE FRECUENCIA BAJA

En general, la combinación se hace con corrientes diadinámicas. Sin embargo, no es necesario usar exclusivamente esta forma de corriente. La llamada corriente 2-5 de Träbert también es adecuada y, en un sentido más amplio, puede usarse cualquier corriente continua interrumpida de baja frecuencia.

Gierlich fue el primero en introducir este método. Había notado que los puntos sensibles (p.ej., puntos "trigger", puntos dolorosos y tendomiosis), reaccionaban con gran fuerza a esta combinación de estímulos.

En analogía con las observaciones de Kahane (galvanopalpación), se aprecia que, además de la hiperestesia, aparece también un enrojecimiento cutáneo (circunscrito) sobre el punto sensible.

Gierlich menciona la ventaja (en contraste con la galvanopalpación) de que también pueden diagnosticarse los puntos situados más profundamente. De esta forma no solo pueden descubrirse los puntos sensibles, sino que también pueden tratarse áreas hiperestésicas mayores, dermatomas zonas de Head. Tales áreas muestran una reacción análoga de la que los puntos "trigger", con hiperestesia y enrojecimiento. Sin embargo, el enrojecimiento no está bien delineado. Según Hoogland (1980), la combinación de estímulos proporciona efectos distintos a los de los mismos estímulos por separado. Esto se manifiesta, por ejemplo, en:

- El hecho de que, para localizar los puntos de aplicación a tratar por medio de terapia combinada, es suficiente una intensidad de la corriente muy baja. *Con esta intensidad baja no es posible la localización de tales puntos usando exclusivamente la corriente eléctrica.*
- El hecho de que los ultrasonidos tienen un efecto sensibilizador sobre las fibras nerviosas. En la terapia combinada esto se pone de manifiesto por la necesidad de reducir repetidamente la intensidad de la corriente durante el tratamiento; en caso contrario, la sensación de excitación se hace excesiva para el paciente.

- El hecho que al desconectar el equipo de ultrasonido disminuye la sensación de la corriente.

Esto suele ocurrir de forma inmediata o tras un intervalo corto, debido a la adaptación de las fibras nerviosas.

Así pues, puede concluirse que la terapia combinada es especialmente adecuada para el diagnóstico. Esto se aplica sobre todo cuando el trastorno no es muy agudo y no pueden encontrarse inmediatamente los puntos de aplicación.

Desde el punto de vista terapéutico, los ultrasonidos complementan el efecto de la electroterapia, puesto que evitan o reducen mucho la adaptación, de forma que los estímulos eléctricos se hacen más efectivos y pueden aplicarse durante más tiempo sin necesidad de emplear una corriente inaceptablemente alta y sin riesgo de producir efectos de tipo galvánico en la piel. Está claro que, por diversas razones, la intensidad de los ultrasonidos debe ser baja cuando se emplea esta forma de terapia (Hoogland 1985).

El método propuesto por Gierlich tiene varias desventajas importantes que pueden resumirse así:

- El método es muy agresivo a causa de los efectos galvánicos de la corriente diadinámica. Por tanto, resulta adecuado casi exclusivamente para procesos no muy agudos.
- Aparecen efectos de tipo galvánico con rapidez. Esto se debe probablemente a la capa muy fina de medio de contacto usada como conductor.
- El efecto en profundidad es ligero, puesto que se usan las formas rectificadas de corriente con frecuencia baja, de forma que sólo pueden encontrarse puntos de aplicación para la electroterapia en la piel y la capa muscular superficial.
- La cabeza de tratamiento, que es también el electrodo activo, debe separarse con regularidad de la superficie corporal para añadir medio de contacto. Siempre debe usarse la misma intensidad para demostrar diferencias de la sensibilidad, por lo que resulta casi imposible reducir la corriente a cero. El separar y volver a colocar la cabeza de tratamiento es desagradable para el paciente cuando se abre el circuito y, sobre todo, cuando se cierra.

Para eliminar o reducir estos fenómenos "negativos", el SONOPULS 434 corta en secciones iguales los impulsos eléctricos de la corriente de baja frecuencia por medio de un "fraccionador" (fig. 4.1 a y b).

Esto conduce a una corriente con frecuencia de 4.000 Hz y pausas entre los impulsos de 0,125 ms.

Así disminuye de la mitad el efecto galvánico de la corriente continua, y además aumenta la acción en profundidad de la corriente gracias a la mayor frecuencia. No consideraremos aquí las consecuencias electrofisiológicas del aumento de la frecuencia.

4.1.2 COMBINACIÓN DE ULTRASONIDOS Y ELECTROTERAPIA DE FRECUENCIA MEDIA

La supresión de los efectos adversos de la terapia combinada se ha conseguido combinando los ultrasonidos con corriente alterna de frecuencia media

(Hoogland 1985). Las ventajas pueden resumirse de la forma siguiente:

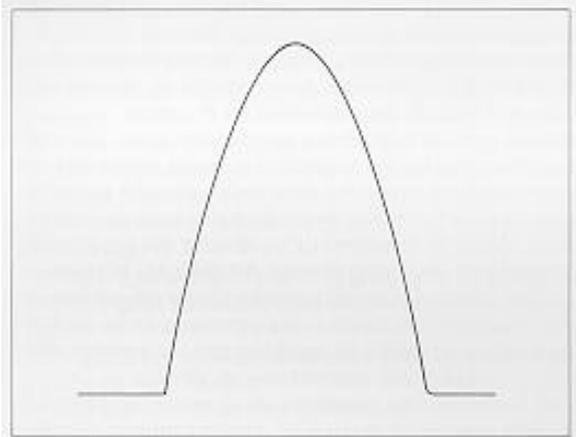


Fig. 4.1a Impulso eléctrico de la corriente de baja frecuencia.

- No existe excitación agresiva.
- Con una corriente alterna sinusoidal los efectos de tipo galvánico se eliminan prácticamente.
- Con una colocación correcta del electrodo, la acción en profundidad es mayor, de forma que también se localizan los puntos de aplicación situados a más profundidad.
- La abertura del circuito eléctrico no causa sensaciones desagradables en el paciente. El cierre del circuito sigue siendo desagradable debido a la sensación eléctrica súbita, pero mucho menos que con la corriente interrumpida.

4.1.3 TÉCNICA DE LA TERAPIA COMBINADA

Sólo podemos dar una indicación de la técnica a seguir, debido a las diferencias individuales. Por ejemplo, pueden elegirse corrientes o frecuencias de electroterapia diferentes cuando cambia la situación.

Diagnóstico

Ajuste del ultrasonido :0,5 W/cm² continua
 Corriente diadinámica :forma de onda DF o
 Corriente de frecuencia media :AMF 100 Hz
 método bipolar

Fig. 4.2 Diagnóstico en terapia combinada y tratamiento de estructuras profundas.

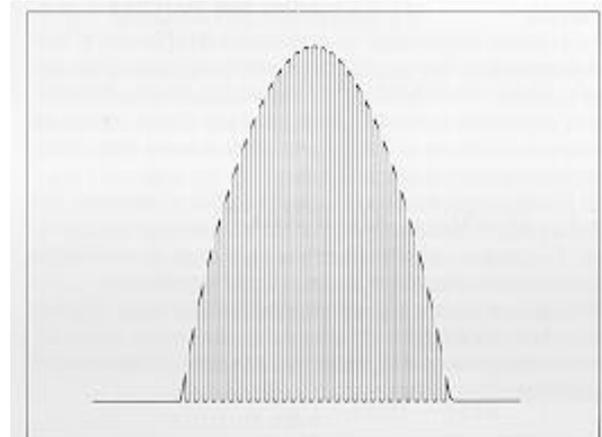
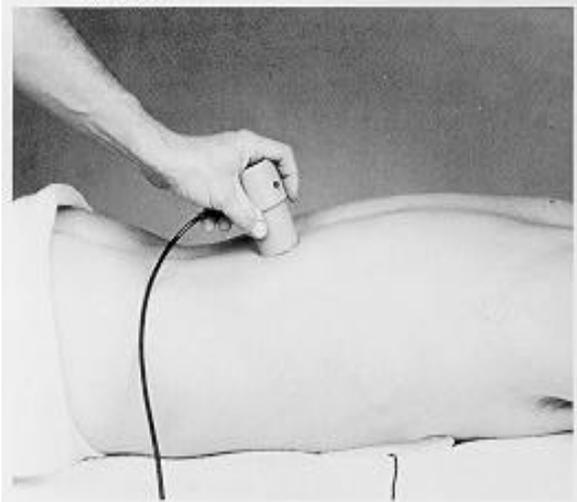


Fig. 4.1b Forma de la corriente procedente del 'traccionador'.

Para localizar las estructuras situadas superficialmente, se usa un electrodo indiferente colocado en el mismo plano que el activo.

Para los puntos de aplicación más profundos, el electrodo indiferente debe colocarse en posición opuesta al activo. El electrodo activo está formado por la placa metálica de la cabeza de tratamiento (ver figs. 4.2 y 4.3). En combinación con las formas rectificadas de corriente, el electrodo indiferente se conecta al ánodo (+) y la cabeza de tratamiento al cátodo (-). Siempre debe usarse una cantidad abundante de medio de contacto para minimizar el riesgo de efectos de tipo galvánico.

La intensidad de la corriente se ajusta de forma que el paciente perciba apenas su paso. Esta intensidad se determina en un área donde pueda asumirse que no existe excitabilidad patológica de los tejidos.

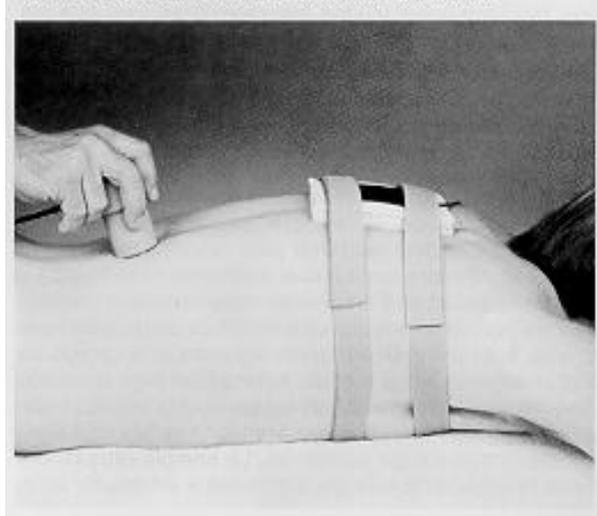
Con esta combinación de corriente y 0,5 W/cm² se buscan los puntos que:

- Muestran aumento marcado de la sensibilidad. (¡Cuidado con efectos de tipo galvánico en los puntos de defecto cutáneo!).
- Se irradian hacia el área afecta.
- Se irradian hacia un área a cierta distancia del punto encontrado (sensación referida).

Terapia

En el punto encontrado se administra terapia con el

Fig. 4.3 Terapia combinada en condiciones superficiales.



método semiestacionario. Como medida de precaución, pero también teniendo en cuenta el efecto de los ultrasonidos pulsátiles sobre el tejido nervioso (Edel), ahora intensidad empleada para el diagnóstico.

El tratamiento tiene una duración de 5 a 10 minutos por punto, dependiendo de la excitabilidad del punto concreto. En general, puede afirmarse que si la excitabilidad disminuye se ha obtenido un efecto terapéutico.

En algunos casos, la excitación sentida aumenta de forma marcada durante el tratamiento. Entonces debe disminuirse la intensidad hasta que sea bien tolerada por el paciente.

4.2 INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

Indicaciones

Como ya hemos señalado, la terapia combinada es única por lo que respecta al efecto sensibilizante de los ultrasonidos sobre el tejido nervioso. Este efecto es complementario con el de la electroterapia. Así pues, la gama de indicaciones para la terapia combinada corresponde a la de la electroterapia con frecuencias baja y media.

Contraindicaciones

No existen contraindicaciones específicas para la terapia combinada. Las posibles contraindicaciones son las correspondientes a las de los dos estímulos por separado: ultrasonidos (ver capítulo 6) y corriente eléctrica. La discusión de estas últimas se sale del campo de este libro.

4.3 TERAPIA DE ULTRASONOFORESIS

Por ultrasonoforesis se entiende el tratamiento médico con sustancias introducidas en el cuerpo por medio de energía ultrasónica. La ultrasonoforesis es un suplemento racional para el método clásico de introducir sustancias en la piel mediante el masaje. Los posibles inconvenientes del masaje radican en que no puede aplicarse con facilidad a los tejidos hipersensibles y en que las sustancias activas no penetran en profundidad. La iontoforesis hace posible introducir iones de ciertas sustancias activas en el cuerpo, por medio de la corriente continua. La penetración de las sustancias con este método es claramente mayor que con el masaje.

Se ha demostrado que las sustancias activas también pueden introducirse en el cuerpo a través de la piel intacta por medio de la energía ultrasónica. Griffin y Touchstone lo demostraron para la pomada de hidrocortisona. Comprobaron que el corticosteroide llegaba a una profundidad de 6 cm. Puede observarse con claridad que las partículas sólidas en el fondo de un recipiente de cristal, experimentan agitación vigorosa si la cabeza de tratamiento se dirige a ellas. Además del bien conocido movimiento de oscilación de las partículas sólidas inducido por el ultrasonido, existe también una "presión sónica" que empuja a las partículas. La energía ultrasónica tiene la ventaja de que las partículas a introducir en el cuerpo tienen que tener carga eléctrica y de que no se producen efectos de tipo galvánico. Además, el aumento de permeabilidad de las diversas membranas bajo la

influencia del ultrasonido, hace posible la penetración más profunda de las sustancias en el cuerpo.

Puesto que las sustancias en cuestión (p.ej., pomada) absorben mucho los ultrasonidos, debe emplearse un buen medio de contacto. Algunas sustancias son solubles en agua (o alcohol) y se sabe que el agua es un excelente medio de contacto. La viscosidad del agua puede aumentarse añadiendo glicerol. Así pues, las sustancias activas se encuentran en solución dentro del *gel tixotrópico* resultante. Al concluir el tratamiento no es necesario eliminar el medio de contacto con los agentes activos, sino que puede cubrirse con un vendaje.

Las sustancias no presentes en el medio de contacto pueden frotarse en la piel (p.ej., con una torunda de algodón), y después se aplica el *medio de contacto* sobre el área a tratar. No pueden darse instrucciones específicas para determinar la dosis de ultrasonidos. Aconsejamos consultar los capítulos 1 y 3, párrafo 3.3. Los agentes activos usados en ultrasonofóresis pueden clasificarse de acuerdo con su efecto. A continuación resumimos brevemente los mejor conocidos y usados con más frecuencia.

Fármacos con efecto sobre la circulación

Estas sustancias, como la histamina, el nicotinato de metilo, el mecolil, etc., son vasodilatadores potentes y se usan para los trastornos circulatorios periféricos, los procesos reumáticos y las inflamaciones asépticas.

Fármacos que favorecen la cicatrización de las heridas

Se emplean sustancias con una acción fibrinolítica que estimulan la reabsorción. Estas sustancias existen en varias marcas.

Medicamentos con una acción anti-inflamatoria

La mayoría contienen corticosteroides y se usan es inflamaciones (asépticas) como (peri) tendinopatías, bursitis y otros procesos de los tejidos blandos (reumatismo de tejidos blandos).

Dos estudios han demostrado que la ultrasonofóresis es un instrumento de valor en fisioterapia.

Griffin (1967) trató 66 pacientes con ultrasonidos e hidrocortisona. El 68% mostraron movilidad normal sin dolor después del tratamiento. Entre 36 pacientes tratados con ultrasonidos y un placebo, el 55% no mostraron mejoría.

Moll (1979) trató diversos trastornos empleando la siguiente forma de terapia:

| | De mejorías |
|---|-------------|
| 1) Lidocaína/decadrón en combinación con ultrasonidos | 88,1% |
| 2) Placebo en combinación con ultrasonidos | 56% |
| 3) Placebo con ultrasonidos de intensidad cero | 23.1% |

CAPÍTULO 5

Indicaciones

5.1 INTRODUCCIÓN

La gama de indicaciones de los ultrasonidos es muy amplia. Incluye casi todos los procesos encontrados en la fisioterapia. Se plantea la pregunta de cuáles son las condiciones para las que los ultrasonidos constituyen la forma más adecuada de tratamiento. Esto se hace más claro si se consideran los factores que limitan el uso de la energía ultrasónica.

Tales factores son: *tiempo e intensidad*.

Factor tiempo

La duración máxima de la terapia se fija en 15 minutos por tratamiento. Es improbable que se produzcan efectos (específicos) con el tratamiento de más larga duración. Sin embargo, sí aparecen los efectos secundarios descritos en el capítulo 2.

Según Lehmann, durante el periodo máximo de tratamiento de 15 minutos, el área tratada puede ser de 75-100 cm². Esto significa entre 1 y 1,3 minutos por cm². Nosotros fijamos la *duración mínima del tratamiento en 1 min/cm²*. Esto significa que la máxima superficie tratable es de 75 cm² (cabeza de tratamiento de 5 cm² y 15 minutos de tratamiento). ¡Debe tenerse en cuenta la ERA!

Factor intensidad

Para determinar la intensidad, la pregunta esencial es: ¿qué intensidad se desea en el lugar de los tejidos afectados?

Después, mediante la profundidad media puede calcularse la intensidad en la superficie corporal. Sobre la base de la penetración, puede determinarse si se producirá un efecto terapéutico en el punto en cuestión. La intensidad requerida en la superficie puede ser tan alta que se produzca sobredosificación de los tejidos superficiales, especialmente la piel, los tejidos subcutáneos conectivos y grasos y las capas musculares superficiales.

Esta estrategia conduce a dos criterios importantes para la terapia ultrasónica y por tanto para definir las indicaciones:

- El área máxima de tratamiento es pequeña. Esto implica que, para muchos trastornos incluidos en la gama de indicaciones de los ultrasonidos, sólo es posible un tratamiento parcial. Por ejemplo, en la espondilitis anquilosante pueden tratarse las articulaciones sacroilíacas pero no toda la columna vertebral.
- La acción de los ultrasonidos en la profundidad no es grande. Aunque depende de la absorción de las capas tisulares adyacentes, la acción en profundidad de los ultrasonidos se limita a 3-4 cm (con 1 MHz, ver tabla 1.10).

Teniendo en cuenta estos hechos, describiremos la gama de indicaciones con algunos comentarios.

5.2 TRASTORNOS

De acuerdo con los efectos descritos en el capítulo 2, podría determinarse *bajo qué condiciones* están indicados los ultrasonidos en algunos estados patológicos. De hecho, la indicación es independiente del diagnóstico médico. Un análisis específico de la *naturaleza y posición de los tejidos afectados* determina la elección de los ultrasonidos, teniendo en cuenta la posición descrita en el párrafo 5.1.

Ejemplo: En el diagnóstico de esguince de tobillo, la indicación para ultrasonidos radica en la tumefacción de la articulación.

Se obtiene una clasificación específica de la gama de indicaciones agrupando las condiciones patológicas:

Trastornos del tejido óseo, las articulaciones y los músculos.

- Anomalías postraumáticas después de contusiones, distensiones, luxaciones y fracturas. En estos casos, existe una contraindicación relativa durante las 24-36 horas después de la lesión. El tratamiento se destina sobre todo a controlar la hinchazón y el dolor, y también a favorecer la cicatrización interna y externa. Sólo con candidatas para tratamiento las articulaciones pequeñas (área inferior a 75 cm²).

Varios efectos de los ultrasonidos tienen una influencia favorable sobre la cicatrización de las fracturas, incluyendo la reabsorción de calcio. Los efectos piezoeléctricos pueden ser importantes para la cicatrización de las fracturas. La indicación depende de la situación de la fractura.

Una fractura radial distal puede tratarse con más facilidad, debido a las capas tisulares adyacentes finas, que otra del fémur, donde existe absorción por los tejidos adyacentes.

Artritis reumatoide en estadio quiescente

- *Artrosis/artritis*

Aquí también existe una contraindicación relativa si el proceso es muy agudo, es decir, si la articulación está caliente. La condropatía retrorrotuliana puede tratarse satisfactoriamente con ultrasonidos, mientras que la espondiloartrosis lumbar no se puede tratar debido a la situación profunda de las carillas articulares. Sin embargo, la hipertonía muscular refleja constituye un buen punto de aplicación.

- *Espondilitis anquilosante*

Sólo efecto local. Ver párrafo 5.1.

- *Bursitis/capsulitis/tendinitis*

Los aspectos mencionados previamente también tienen importancia aquí. Además, los efectos piezoeléctricos parecen intervenir sobre todo por lo que respecta al tejido colágeno. Viidik indica que la disposición ordenada de esas fibras podría ser determinada por fenómenos piezoeléctricos.

Esto quizá implique que al aplicar ultrasonidos tiene importancia la dirección del haz sónico. La dirección debe ser paralela a la disposición de las fibras colágenas.

Trastornos de los nervios periféricos

- Neuropatía

En muchas neuropatías por atrapamiento se asume la existencia de hinchazón alrededor del nervio. Teniendo en cuenta la localización específica en un área pequeña, el tratamiento de las fibras nerviosas con ultrasonidos es una buena indicación. No debe olvidarse la alta sensibilidad de las fibras nerviosas a los ultrasonidos.

- Dolor fantasma

Se asume que la acción tiene como base el efecto mecánico del ultrasonido, lo que conduce a "entumecimiento" del nervio. Sin embargo, cabe la posibilidad de que el neurinoma sea dañado por los ultrasonidos.

- Prolapso de disco intervertebral

En realidad, esta es una forma especial de neuropatía por atrapamiento. Recientemente se ha demostrado una vez más el efecto favorable de los ultrasonidos. Sin embargo, el efecto térmico puede conducir a hinchazón de la protrusión.

Trastornos de la circulación

- Enfermedad de Raynaud.
- Enfermedad de Buerger.
- Distrofia de Südeck.
- Edema.

Varios autores indican que se obtiene poca mejoría con el tratamiento local de estas enfermedades, y que es preferible el tratamiento segmentario. En este contexto, los puntos de aplicación son especialmente los puntos "trigger" en los músculos.

Trastornos orgánicos internos

Se ha obtenido mucha experiencia clínica sobre la influencia de los ultrasonidos en los órganos internos. Ahora apenas se usa la aplicación local de ultrasonidos de órganos como el estómago (efecto antiacidótico). Sin embargo, no debe olvidarse este campo de aplicación. En los casos adecuados los ultrasonidos pueden ofrecer una alternativa para la quimioterapia. Los puntos típicos de aplicación para esta indicación son los puntos musculares y periósticos en las áreas segmentarias correspondientes.

Anomalías de la piel

- Tejido cicatricial.
- ρ Cicatrices quirúrgicas
- ρ Cicatrices traumáticas

Estos procesos constituyen una indicación muy buena para la terapia ultrasónica. Para la dosificación, el factor tiempo se ajusta a 1-1,5 min/cm² de tejido cicatricial. La intensidad depende de la profundidad de la cicatriz.

Mejoran tanto la velocidad de cicatrización como la calidad de la cicatriz.

Para las cicatrices de heridas que no se han cerrado todavía, la esterilidad del medio de contacto constituye un requisito absoluto. La posibilidad de infección cruzada desde la cabeza de tratamiento puede plantear problemas en tales casos.

Contractura de Dupuytren

Al igual que el tejido cicatricial, la contractura de Dupuytren es una buena indicación, debido al efecto de los ultrasonidos sobre las fibras colágenas que conduce a disminución de la contractura.

A veces es necesario el método subacuático a causa de la flexión marcada de los dedos.

La ultrasonofóresis con hialuronidasa tiene valor en tales casos, así como el tratamiento del tejido cicatricial.

Heridas abiertas

- Ulceras de decúbito.
- Lesiones postraumáticas.

La aceleración de la curación es un efecto bien conocido de los ultrasonidos. Las razones se han descrito al hablar de los efectos de esta forma de terapia.

Contraindicaciones

6.1 CONTRAINDICACIONES ESPECÍFICAS ABSOLUTAS

Puesto que la terapia ultrasónica con una intensidad demasiado alta puede inducir en efecto térmico potente, todas las contraindicaciones que se aplican a la terapia térmica también tienen aplicación aquí. Por razones de seguridad no se tratan ciertos tejidos y órganos como:

Ojos:

Puesto que la cavitación en el líquido ocular podría conducir a daño irreversible, los ojos no se tratan con ultrasonidos.

Corazón:

Se han descrito cambios en el potencial de acción con el tratamiento directo.

Utero gestante:

Aunque la intensidad que llega al útero es mínima, el abdomen de una mujer embarazada no se trata por razones de seguridad. El efecto de los ultrasonidos sobre el tejido en crecimiento rápido (feto) es incierto. Para evitar cualquier anomalía, también se desaconseja el tratamiento de los tejidos segmentarios correspondientes.

Placas epifisarias:

Estas regiones ocupaban antes uno de los primeros lugares en la lista de contraindicaciones. *Con la aplicación de ultrasonidos pulsátiles* (a intensidad baja) estas áreas *pueden tratarse ahora* en pacientes menores de 18 años.

Tejido cerebral:

No existen datos en la literatura.

Testículos:

Puesto que la influencia de los ultrasonidos en todos los órganos es impredecible, no se tratan.

6.2 CONTRAINDICACIONES ESPECÍFICAS RELATIVAS

Estado después de la laminectomía

Es necesario cuidado en los pacientes sometidos a laminectomía por prolapso discal. El tratamiento del tejido cicatricial o de las articulaciones de la columna vertebral – en indicaciones insuficientemente cuidadosas – puede conducir a daño de las raíces nerviosas dentro de las membranas espinales.

Pérdida de sensibilidad

Las áreas con pérdida de sensibilidad deben tratarse cuidadosamente. Esto se aplica sobre todo en el caso de ultrasonidos continuos.

Endoprótesis:

El cemento óseo (metacrilato de metilo) tiene un coeficiente de absorción alto. Los componentes plásticos de las prótesis pueden sufrir los efectos térmicos de la aplicación continua del ultrasonido.

Nota: El *material de osteosíntesis* muestra poco aumento de la temperatura debido a la buena conducción de los metales, o a causa de que el metal refleja la energía ultrasónica. En este caso experimenta peligro el tejido adyacente.

Se ha demostrado que la fijación interna mediante pernos no constituye una contraindicación para los ultrasonidos si se aplican a intensidad baja y por el método dinámico.

Tumores:

Tras algunos éxitos iniciales, la terapia ultrasónica en los tumores se ha interrumpido.

Secuelas postraumáticas:

Como ya se ha descrito, en estos casos la circulación suele ser incapaz de reaccionar en forma adecuada frente a la producción de calor. Debido a los efectos tanto térmicos como mecánicos, los vasos sanguíneos en recuperación pueden romperse conduciendo a hemorragia recurrente. El tratamiento *local* con intensidad baja sólo puede administrarse tras 24-36 horas.

Tromboflebitis y varices

Las vibraciones mecánicas pueden causar un embolismo.

Inflamación séptica

En tales casos existe el peligro de acelerar la proliferación y favorecer la diseminación de las bacterias a través del cuerpo.

Diabetes mellitus

Los ultrasonidos pueden conducir a un descenso ligero de la glucemia. En pacientes con diabetes esto puede provocar síntomas como fatiga. En general desaparecen tras reducir la dosis.

CAPÍTULO 7

Ejemplos de tratamiento

7.1 INTRODUCCIÓN

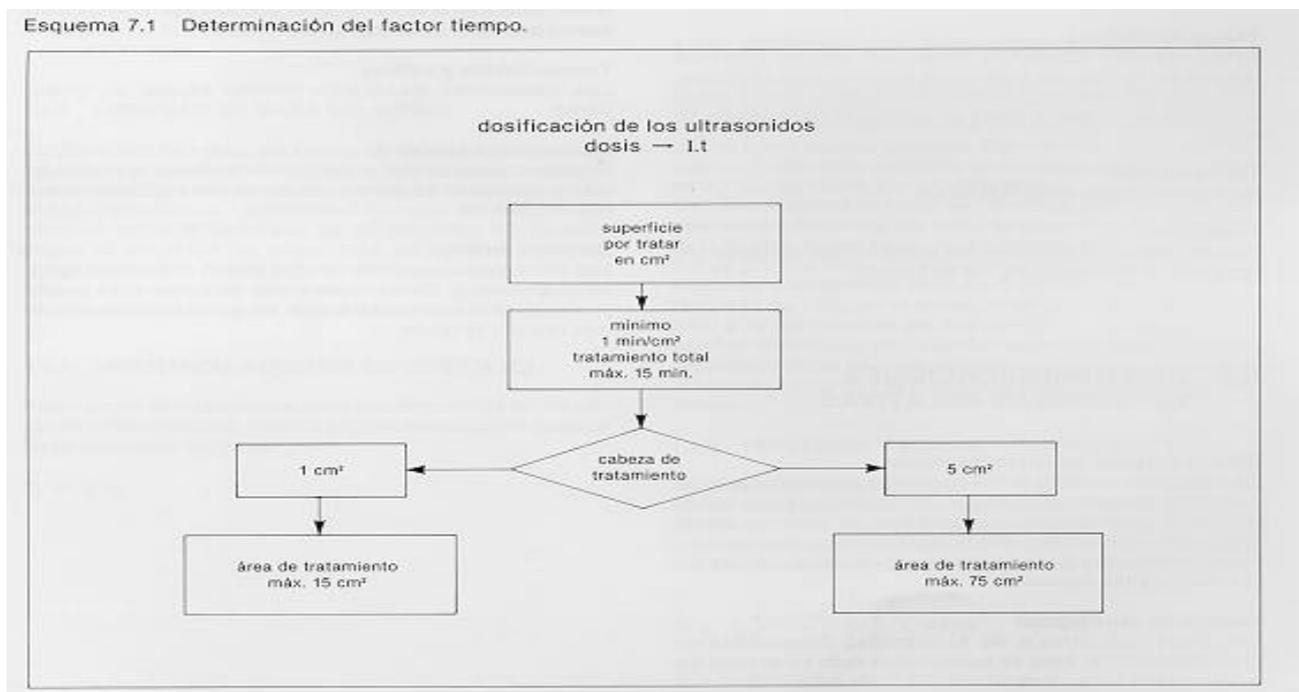
De acuerdo con lo dicho en este texto, el terapeuta puede determinar si los ultrasonidos ofrecerán o no una terapia efectiva, sobre la base de sus efectos. La efectividad depende de la naturaleza y la posición (profunda, superficial) de los tejidos, así como de numerosos factores secundarios y terciarios entre los que citaremos:

- Temperatura real de la articulación que puede variar de una sesión a otra.
- Si un paciente sufre diabetes mellitus, la descompensación de su enfermedad puede provocar sensibilidad súbita a pequeñas variaciones en el nivel de glucosa sanguínea.
- Deterioro de la circulación.

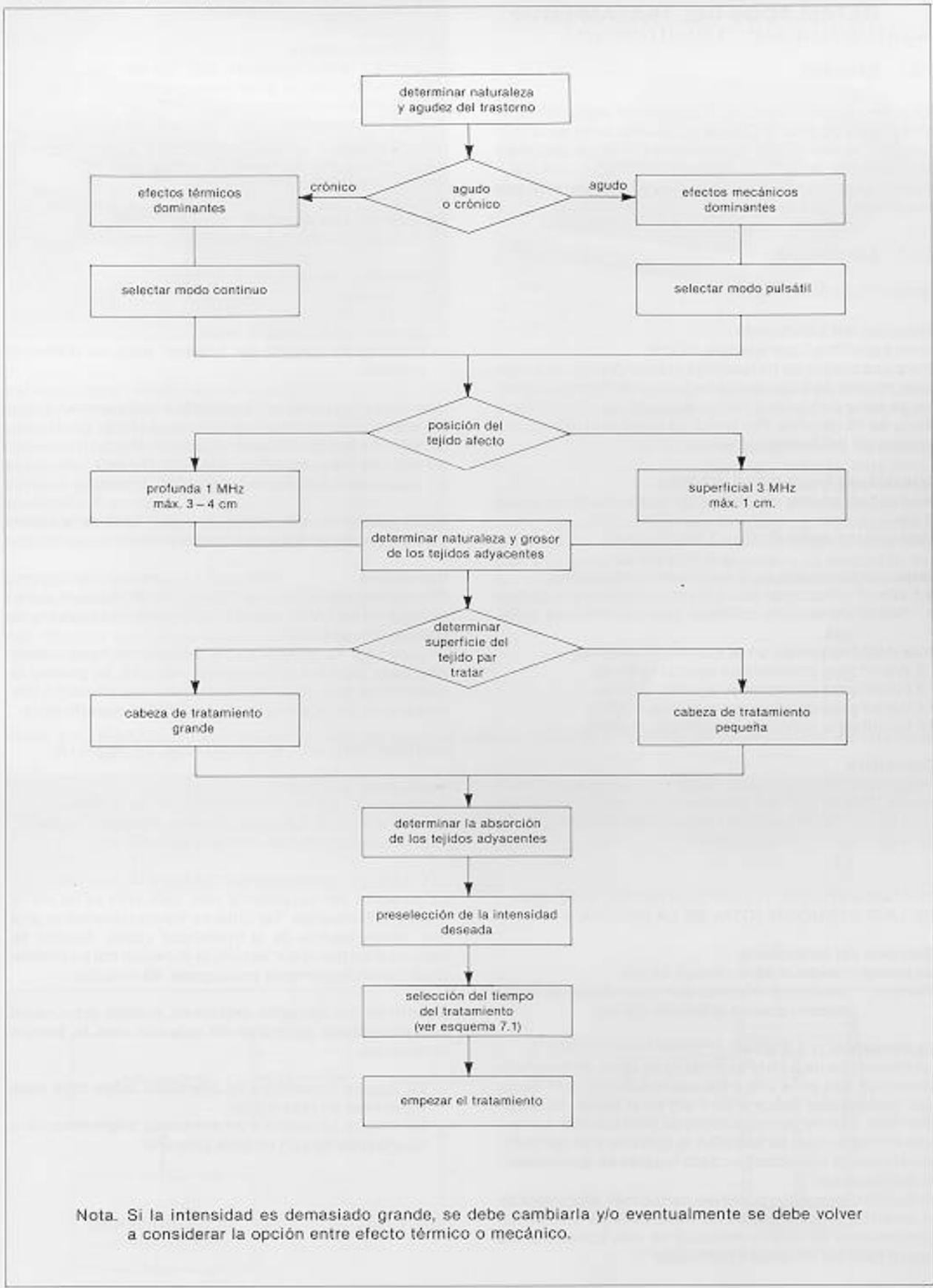
Estos son algunos ejemplos, tomados al azar, en los que los ultrasonidos no son adecuados a pesar de que se usen para una indicación en sí misma correcta.

La elección de la frecuencia 1 ó 3 MHz depende también de la localización de los tejidos afectados. Dada la alta absorción con 3 MHz, la penetración en el tejido es relativamente baja. Se necesitan intensidades altas para que la energía ultrasónica llegue al tejido afecto y produzca un efecto terapéutico.

Esquema 7.1 Determinación del factor tiempo.



Esquema 7.2 Esquema para el tratamiento.



7.2 ALGUNOS EJEMPLOS DETALLADOS DE TRATAMIENTO

7.2.1 GENERAL

En primer lugar, determinar la intensidad requerida en el sitio del tejido afecto. Después, sobre la base de la profundidad media ($D \frac{1}{2}$), calcular la intensidad que debe aplicarse a la superficie corporal. La duración del tratamiento depende del área en cm^2 que deba tratarse (ver esquemas 7.1 y 7.2).

7.2.2 ESPECÍFICO

BURSITIS SUBACROMIAL

Duración del tratamiento

Área superficial: por ejemplo 15 cm^2 .

Para una cabeza de tratamiento grande (5 cm^2), una duración mínima de tratamiento de 3 minutos. Para una cabeza de tratamiento de 1 cm^2 la duración correspondiente sería de 15 minutos. Por tanto, se excluye el uso de una cabeza de tratamiento pequeña.

Intensidad y frecuencia (1 o 3 MHz)

Intensidad: asumir un grosor del músculo deltoides de 2 cm.

Profundidad media ($D \frac{1}{2}$): a 1 MHz 1 cm
a 3 MHz 0,3 cm

Intensidad deseada en la localización de la bolsa:

$0,5 \text{ W/cm}^2$ ultrasonido *pulsátil* para condiciones *agudas*.

1 W/cm^2 ultrasonido *continuo* para condiciones *crónicas*.

Intensidad requerida en la superficie corporal:

2 W/cm^2 para condiciones agudas (1 MHz)

8 W/cm^2 para condiciones agudas (3 MHz)

4 W/cm^2 para condiciones crónicas (1 MHz)

16 W/cm^2 para condiciones crónicas (1 MHz)

Conclusión

Bajo estas circunstancias, la bursitis subacromial sólo puede tratarse con una frecuencia de 1 MHz y sólo en la fase aguda. Tener en cuenta también la contraindicación si la articulación está caliente.

TRATAMIENTO DEL TEJIDO CICATRICAL DESPUES DE LA SUSTITUCIÓN TOTAL DE LA CADERA

Duración del tratamiento

Se asume: longitud de la cicatriz 14 cm.

Tiempo: mínimo 6 minutos con una cabeza de tratamiento grande (diámetro 2,5 cm).

La frecuencia (1 o 3 MHz)

La frecuencia de 3 MHz es ideal si se tiene en cuenta la absorción alta en la piel y las capas superficiales hasta una profundidad máxima de 1 cm en el tejido muscular (ver tabla 1.10, de profundidades de penetración). La ventaja radica en que se respetan la prótesis y el cemento, puesto que la intensidad en esos lugares es generalmente despreciable.

Si también se desean tratar las partes más profundas de la cicatriz, puede usarse una frecuencia de 1 MHz.

La combinación de ambos métodos es una consecuencia lógica para las cicatrices profundas.

TRATAMIENTO DE LA TENDINITIS DEL MUSCULO SEGUNDO RADIAL EXTERNO

Asunciones básicas

Situación: inmediatamente por debajo del músculo primer radial externo en el punto en el que el tendón se origina del vientre muscular.

Grosor de la capa tisular: inferior a 1 cm.

Área del tejido patológico: la mayoría de las veces se afecta el origen del tendón ($1\text{-}2 \text{ cm}^2$).

Técnica: semiestacionaria

Duración del tratamiento

1 a 2 minutos (cabeza de tratamiento pequeña de 1 cm^2).

Intensidad y frecuencia (1 o 3 MHz)

Intensidad requerida en el lugar de la lesión:

- Ultrasonido pulsátil de $0,2 \text{ W/cm}^2$ para un trastorno *agudo* en el lugar de la lesión.

- Ultrasonido pulsátil de 1 W/cm^2 para un trastorno *crónico*.

Intensidad requerida en la superficie del cuerpo:

$0,6 \text{ W/cm}^2$ para condiciones agudas (3 MHz)

$0,4 \text{ W/cm}^2$ para condiciones agudas (1 MHz)

3 W/cm^2 para condiciones crónicas (3 MHz)

2 W/cm^2 para condiciones crónicas (1 MHz)

Estos valores altos constituyen el resultado de la absorción en las capas tisulares sobreyacentes.

Conclusión

El trastorno agudo es una buena indicación para la frecuencia de 1 y 3 MHz y para la aplicación de la cabeza de tratamiento pequeña.

Al aumentar la cronicidad, el proceso se hace menos adecuado para los ultrasonidos. Además, se plantea la cuestión de si la dosis necesaria para una situación crónica podría ser soportada por los tejidos superficiales.

TRATAMIENTO DE LA SINOVITIS DE LA RODILLA

Asunciones básicas

El área de la rodilla en un plano es de $15 \times 15 \text{ cm}$.

Es habitual tratar 3 planos (anterior, mediano, lateral).

El área total a tratar es, por tanto, de 675 cm^2 .

La cabeza de tratamiento grande tiene un área de 5 cm^2 . La duración del tratamiento para esta área es de por lo menos 135 minutos. Tal cifra es inaceptablemente alta con independencia de la intensidad usada. Aunque se trate un solo plano por sesión, la duración del tratamiento es inaceptablemente prolongada: 45 minutos.

A partir de los ejemplos anteriores, pueden proponerse dos postulados generales en relación con la terapia ultrasónica.

- La terapia ultrasónica es adecuada sobre todo para trastornos en fase aguda.
- La terapia ultrasónica es adecuada sobre todo para localizaciones con un área pequeña.



Figura 7.1 Tratamiento de un artritis en la articulación digital.



Figura 7.2 Tratamiento de un tendinitis en el músculo supraespalnal.

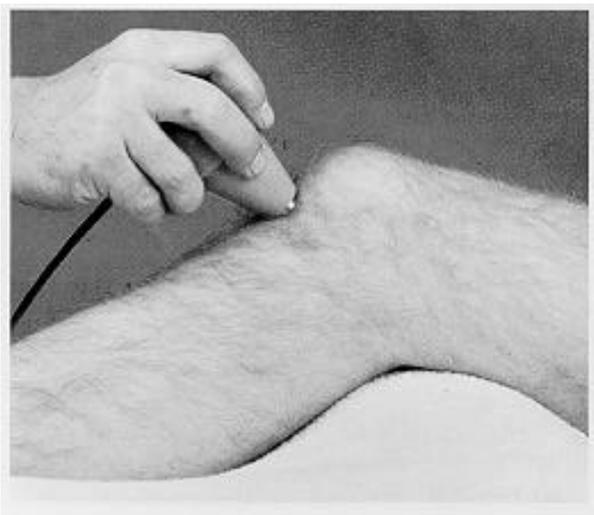


Figura 7.3 Tratamiento de una entesopatía del ligamento rotuliano.



Figura 7.4 Tratamiento del punto de fijación del músculo segundo radial externo.



Figura 7.5 Tratamiento de un tendinitis del tendón de Aquiles. Fijarse en la toalla para proteger al terapeuta (la capa de aire).

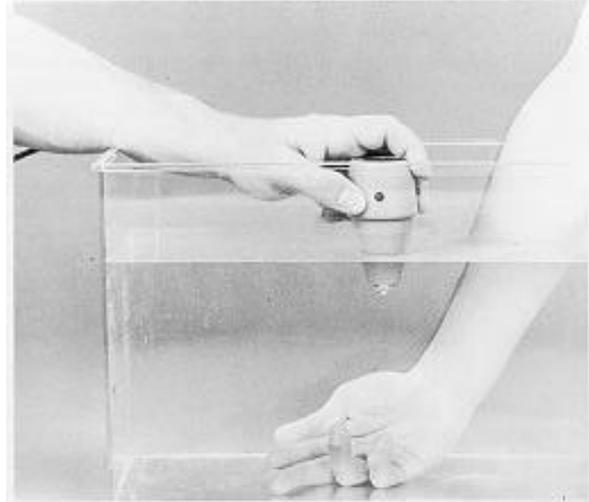


Figura 7.6 Tratamiento subacuático de una contractura de Dupuytren. Nota: se ha optado por una gran distancia para evitar al máximo el campo cercano de la pequeña cabeza de tratamiento de 3 MHz.

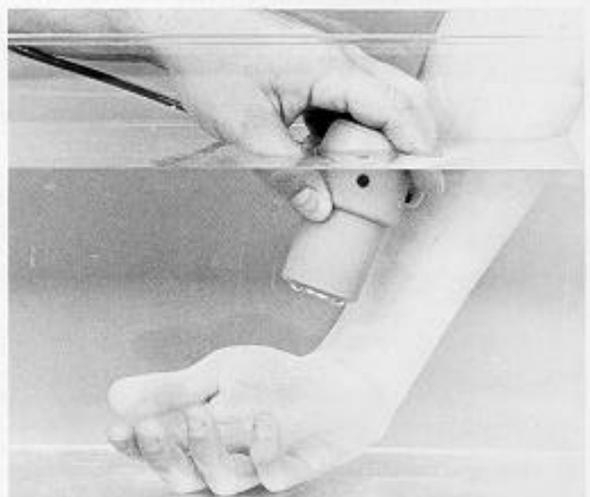


Figura 7.7 Tratamiento subacuático de una contractura de Dupuytren. Nota: fijarse en la pequeña distancia de la cabeza de tratamiento grande de 1 MHz.

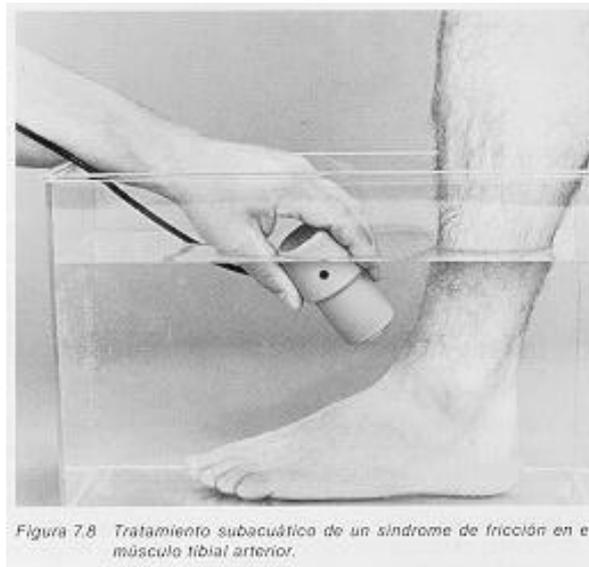


Figura 7.8 Tratamiento subacuático de un síndrome de fricción en el músculo tibial anterior.

Duante tratamientos subacuáticos en los que la mano del terapeuta entra en el agua, se recomienda llevar un guante

LISTA DE LITERATURA RECOMENDADA Y CONSULTADA

1. Arnold, W.,
"Temperatureeffekte an chirurgischen Metallimplantaten unter Elektrotherapie".
Zeitschrift für Physiotherapie 35 (1983), 253-258.
2. Allen, K. G. R. en C. K. Btbye,
"Performance of Ultrasonic Therapy Instruments".
Physiotherapy (Eng.) 64 (1978) 6, 174-179.
3. Antich, T. J.,
"Phonophoresis".
Journal of orthop. and sport phys. therapy, 4 (1982) 2, 99-103.
4. Bantjes, A. en R. Klomp,
"Onderzoek naar de overdracht van ultrageluidenergie door contactstoffen".
Ned. Tijdschrift voor fysiotherapie 88 (1978) nr.11.
5. Basset, C. A. L.,
"Electrical effects in bone".
Scient. Am. 213 (1965) 10, 18-25.
6. Basset, C. A. L.,
"Biologic significance of piezoelectricity".
Calif. Tissue res., 1 (1968) 252-272.
7. Becker, S.,
"Untersuchungen mit der Infrarotoszillographie über die segmentale Wirkung des Ultraschalls bei Gefäßgesunden und Gefäßkranken".
Inaugurale Dissertation Medizinische Akademie "Carl Gustav Carus" Dresden (1969).
8. Behari, J. en S. Singh,
"Ultrasound propagation "in vivo" bone".
Ultrasonics (1981).
9. Beier, W. en E. Dorner,
Der Ultraschall in Biologie und Medizin.
VEB Georg Thieme, Leipzig 1954.
10. Bergmann, L.,
Der Ultraschall, 5a edición.
S. Hirzel Verlag 1949.
11. Bombicki K. En M. Kwasniewska – Blaszczyk,
"Experimentelle Schädigung des peripheren Nervensystems durch Ultraschallanwendungen".
Zeitschrift für Physiotherapie 28 (1976) 5, 351-355.
12. Born, Strahlentherapie, 79 (1949), 513.
13. Callies, R.,
"Differenzierte Ultraschalltherapie und ihr Einsatz in der Sportmedizin".
Nach einem Vortrag auf der Tagung der Gessellschaft für Sportmedizin der DDR, Bezirksgruppe Gera Jena (1978).
14. Callies, R., J. Danz, U. Smolenski,
"Dosierungsstrategie einer Ultraschalltherapie".
Zeitschrift für Physiotherapie 35 (1983), 259-164.
15. Child, S. Z. e.a.,
"Ultrasonic treatment of tumors III".
Ultrasound in med. And biol. 8 (1982) 1, 41-44.
16. Coakley, W. T.,
"Biophysical effects of ultrasound at therapeutic intensities".
Physiotherapy (Eng.) 64 (1978) 6, 166-169.
17. Cohen Stuart Sv. en E. G. Leffelaar,
Compendium fysiothechniek.
De Tijdstroom Lochem 1969.
18. Conradi, E. e.a.,
"Zun gegenwärtigen Stand der Therapie mit Impulsultraschall".
Zeitschrift für Physiotherapie 28 (1982) 6, 371-376.
19. Conradi, E., U. Fritze, B. Hoffmann,
"Untersuchungen zur Verteilung der Wärmeenergie in verschiedenen Gewebsschichten beim Schwein nach Ultraschalltherapie im Gleich – und Impulsbetrieb".
Zeitschrift für Physiotherapie 35 (1983), 271-280.
20. Cordes, J. en B. Zeibig,
Physiotherapie.
VEB Verlag Volk und Gesundheit Berlin (1981).
21. Cosentino, A. B., D. L. Cross, R. J. Harrington, G. L. Soderberg,
"Ultrasound effects on electroneurographic measures in sensory fibers of the median nerve".
Physical therapy" 63 (1983) 11.
22. Danz, J. en G. Geske,
"Ultrageluidreflexie bij de toepassing van verschillende contactstoffen".
Ned. Tijdschrift voor Fysiotherapie (1978) 7/8.
23. Dumoulin, J. en G. de Bisschop,
Electrotherapie 4a edición
Maloine SA Paris.
24. Dyson, M., C. Franks, J. Suckling,
"Stimulation of healing of varicose ulcers by ultrasound".
Ultrasonics (1976), 9.
25. Dyson, M., J. Suckling,
"Stimulation of tissue repair by ultrasound: A survey of the mechanisme involved".
Physiotherapy 64 (1978), 4.
26. Dyson, M. en J. B. Pond,
"Biological effects of therapeutic ultrasound".
Reumatol. And rehab. (1973) 12, 209-213.
27. Edel, H.,
Fibel der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie 3a edición, Verlag Theodor Steinkopff Dresden, 1975.

28. Edel, H.,
Fibel der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie 5^a edición, Verlag Theodor Steinkopff Dresden, 1983.
29. Edel, H. en A. Lange,
"Schmerzmodulation durch elektrische Reize und Ultraschall".
Zeitschrift für Physiotherapie 31, (1979) 4.
30. Fukada, E.,
"Mechanical deformation and electrical polarization in biological substances".
Biorheology (1968) 5, 199-208.
31. Fukda, E. en I. Yasuda,
"Piezoelectric effects in collagen".
Japan J. Appl. Phys. (1964) 3, 117-121.
32. Gierlich, K. en A. Jung,
"Die kombinierte Anwendung von Ultraschall und Reizströme".
Zeitschrift für Physikalische Medizin und Rehabilitation (1968) 9, 258-261.
33. Gorkiewicz, R.,
"Ultrasound for subacromial bursitis".
Physical therapy 64 (1978) 4.
34. Griffin, J. E. en J. C. Touchstone,
"Ultrasonic movement of corticol into pig tissues, 2, Movement into skeletal muscle".
Am. J. Phys. Med. 43 (1963) 77.
35. Haar, ter G.,
"Basic physics of therapeutic ultrasound".
Physiotherapy 64 (1978) 4.
36. Haimivici, N. en A. Feibel,
"Kritische Bemerkungen zum Thema
"Therapeutische Erwärmung der Gelenke".
Zeitschrift für Physikalische Medizin (1980) 10, 113-123.
37. Halle, J. S., C. R. Scoville en D. G. Greathouse,
"Ultrasounds effect on the conduction latency of the superficial radial nerve in man".
Physical therapy (USA), 61 (1981) 3, 345-350.
38. Harms, P.,
"Behandlungserfahrungen bei Sportverletzungen und Sportschaden durch Ultraphonophoreses mit AlphaChymocutan".
Münchener Medizinischer Wochenschrift Jahrgang 23 Nr. 2.
39. Heidenreich, E. M.,
"Erfahrungen mit der synchronischen Kombination von Ultraschall und Reizstrom in der Behandlung verschiedener Schmerzsyndrome des Bewegungsapparates".
Zeitschrift für Physiotherapie 30 (1978).
40. Hill, C. R.,
Manual on health aspects of exposure to nonionizing radiation.
Chapter on ultrasound. IPC/CEP 803.
Regional office for Europe, WHO (1977).
41. Hippe, H. en J. Uhlmann,
Zbl. Chir., 84 (1959), 1105-1109.
42. Hogan, R. D., e.a.,
"The effects of ultrasound on microvascular hemodynamics in skeletal muscle: effect on arterioles".
Ultrasound in med. and biol. 8 (1982) 1, 45-55.
43. Hogenkamp, M., E. Mittelmeijer, I. Smits e. a.,
Interferentietherapie
ENRAF-NONIUS Holland 1983.
44. Hussy, M.B.E.,
Diagnostic ultrasound
Blackie, Thomson Litho Scotland 1975.
45. Kalenda Z,
Het mucusprobleem in de kliniek, Den Haag 1974.
46. Koel, G.,
"Dosering bij ultrageluidtherapie".
Ned. Tijdschrift voor fysiotherapie 94 (1984) 2.
47. Koeppen, S.,
Die Anwendung des Ultraschalls in der Medizin.
Hippokrates Verlag Marquardt & Cie Stuttgart 1951.
48. Korst, J. K. van der,
"Warmtetherapie bij reumatoide arthritis".
Ned. Tijdschrift voor fysiotherapie, 84 (1974) 10, 328-329.
49. Krusen, F. H.,
Handbook of physical medicine and rehabilitation,
3a edición. W. B. Saunders & Co 1982.
50. Lange, A.,
"Moderne Ultraschalldosierung Übersicht über die sowjetische Literatur".
Zeitschrift für Physiotherapie, 80 (1978) 2, 117-124.
51. Laudien, K.,
"Charakterisierung einiger handelsüblicher medizinischer Verneblungsgeräte hinsichtlich der Teilchengrößenverteilung des erzeugten Aerosols".
Zeitschrift für Physiotherapie, 26 (1974) 3, 183-198.
52. Lehmann, J. F.,
Therapeutic heat and cold, 3a edición.
Williams and Wilkins Baltimore, Londen 1982.
53. Lehmann, J. F., diathermie.
In: Krusen F. H. en F. J. Kottke en P. M. Elwood jr.,
Handbook of physical medicine and rehabilitation Philadelphia 1965.
54. Lehmann, J. F. e. a.,
"Heating produced by ultrasound in bone and soft tissue".
Archives of physical medicine and rehabilitation, 78 (1967) 397-401.
55. Lota, M. J. L.,
"Electronic plethysmographic and tissue temperature studies of effect of ultrasound on blood flow".
Archives of physical medicine and rehabilitation, (1965) 4, 315-322.

56. Makaloluwe, R. T. B., G. L. Mouzas,
"Ultrasound in the treatment of sprained ankles".
57. Manthey, von J., R. Callies,
"Zur Änderung des elektrischen Hautwiderstandes nach einmaliger Ultraschallapplikation bei Patienten mit Rheumatoid – Arthritis".
Zeitschrift für Physiotherapie 36 (1984), 219-221.
58. Markham, D. E. en M. R. Wood,
"Ultrasound for Dupuytren's contracture".
Physiotherapy (Eng.) 2, 55-58.
59. Martin, C. J. e. a.,
"Observations of ultrasound – induced effects in the fish *Xiphophorus maculatus*".
Ultrasound in med. and biol. 9 (1983) 2, 177-183.
60. Moraldo, M., G. Schramm,
"Die Effektivität des Ultraschalls mit AlphaChymocutan bei Epicondylopathia humeri radialis".
Orthopaedische Praxis 9 (1982).
61. Niegel, J., P. Schepper,
"Kombinationstherapie, Ultraschall und Reizstrom".
Zeitschrift für Physiotherapie 4 (1976).
62. Nwuga, V. C. B.,
"Ultrasound in treatment of back pain resulting from prolapsed intervertebral disc".
Arch. Phys. Med. Rehabil. 64 (1983).
63. Oakley, E. M.,
"Dangers and contra-indications of therapeutic ultrasound".
Physiotherapy (Eng.) 64 (1978) 6, 173-174.
64. Oakley, E. M.,
"Application of continuous beam ultrasound at therapeutic levels".
Physiotherapy 64 (1978) 6.
65. Oosterbaan, W., R. Hekkenberg, R. v. Bommel, B. Snoeck,
"An ultrasound transducer with a low parasitical radiation for use in physiotherapy".
Medisch fysisch instituut TNO, Utrecht 1980.
66. Paaske, W. P., H. Hovind, P. Sejrsen,
"Influence of therapeutic ultrasonic irradiation on blood flow in human cutaneous, subcutaneous and muscular tissues".
Scand. J. clin. Lab. Invest. 31 (1973) 389-394.
67. Patrick, M. K.,
"Applications of therapeutic pused ultrasound".
Physiotherapy 64 (1978) 4.
68. Patzold, J.,
"Ultraschalltherapie und Ultraschalldiagnostik",
In: *Compendium Elektromedizin*, Berlin/München 1976.
69. Payton, O. D., R. L. Lamb, M. E. Kasey,
"Effects on therapeutic ultrasound on bone marrow in dogs".
Physical therapy (USA) 55 (1975) 1, 20-27.
70. Pohlman, R.,
Die Ultraschalltherapie.
Verlag Hans Huber, Bern 1951.
71. Reid, D. C. en G. E. Cummings,
"Effectiviteit van contactstoffen bij ultrageluid".
Ned. tijdschrift voor fysiotherapie, 88 (1978) 6, 165-168.
72. Rott, D. e.a.,
"Chromosomenuntersuchungen nanch Einwirkung von Ultraschall auf menschlichen Lymphocyten in vitro".
Elektromedizin Siemens (1972).
73. Schaarberg, K. P., F. J. J. Dikhoff,
"Ultrageluidbehandeling bij decubitus".
Ned. Tijdschrift voor fysiotherapie 9 (1978).
74. Scott, P. M.,
Claytons electrotherapy and actinotherapy, 7e druk.
Balliere Tindall Londen, 1979.
75. Shriber, W. J.,
A manual of electrotherapy,
Philadelphia, 4a edición 1977.
76. Skouba – Kristensen, E, en J. Sommer,
"Ultrasound influence on internal fixation with a rigid plate in dogs".
Arch. Phys. Med. Rehabil. 63 (1982) 8, 371-373.
77. Smolenski, U. e. a.,
"Schallstrahlendruck bei Gleich – und Impulsschall".
Zeitschrift für Physiotherapie 28 (1982) 6, 371-376.
78. Smolenski, u., R. Callies, J. Manthey,
"Untersuchungsmodell zur Infrarotthermometrie der Hände bei lokaler und segmentaler Ultraschalltherapie, zum Beispiel des Impulsschalls".
Zeitschrift für Physiotherapie (1983) 5.
79. Snow, C. J.,
"Ultrasound therapy units in Manitoba and northwestern Ontario: performance evaluation".
Physiotherapy Canada. 34 (1982) 4, 185-189.
80. Stein, S. E. Greter,
"Kann Ultraschall gefährlich sein"?
Acta medicotechnica, 29 (1981) 2, 66-68.
81. Stewart, H. F., J. L. Abzug, G. R. Harris,
"Considerations in ultrasound therapy and equipment performance".
Physiotherapy 60 (1980) 4.
82. Summer, W. en M. K. Patrick,
Ultrasonic therapy. Amsterdam 1964.
83. Trnavsky, G.,
"Quantitative Durchblutungsmessung im Unterschenkelbereich bei perkutaner Ultraschalleinwirkung auf die Arteria Femoralis (zum Wirkungsmechanismus der Ultraschalltherapie)".
VASA Band 9, Heft 1 (1980).

84. Viidik, A.,
Function and structure of collagenous tissue.
Elanders, Göteborg, 1968.
85. Vogler, P.,
Physiotherapy. Stuttgart, 2a edición 1975.
86. Wadsworth, H., A. P. P. Chanmugam,
Electrophysical agents in physiotherapy
Science Press Australia 1980.
87. Ward, A. R.,
Electricity fields and waves in therapy.
Science Press Australia 1980.
88. Wells, P. N. T.,
Physical principals of ultrasonic diagnosis.
Academic Press Londen/New York 1969.
89. Wit., H. P. e. a.
Fysica voor de fysiotherapeut.
Bunge Utrecht, 1a edición 1981.
90. Wurff, van der P. en R. Hagemeyer,
"De resultaten van het segmentaal geapliceerde
ultrageluid op de huidtemperatuur bij verschillende
parameters".
Ned. tijdschrift voor fysiotherapie (1980) 12.
91. Wyper, D. J., D. R. McNiven, T. J. Donnelly,
"Therapeutic ultrasound and muscle blood flow".
Physiotherapy (1980) 12.
92. Young, A. e. a.,
"Measurement of quadriceps muscle wasting by
ultrasonography".
Rheumatology and rehabilitation XIX (1980) 8,
141-148.
93. Young, A. en I. Hughes,
"Ultrasonography of muscle in physiotherapeutic
practics and research".
Physiotherapy (Eng.) 68 (1982) 6, 187-190.
94. Zutphen, H. C. F. van e. a.,
Nederlands leerboek der fysische therapie i. e. z.
Bunge, Utrecht 1982.