



JORGE
OBIOLS
QUINTO

Licenciado en Ciencias Biológicas. Jefe del Laboratorio de Análisis Clínicos del Instituto Territorial de Barcelona. Servicio Social de Higiene y Seguridad del Trabajo.

*Colaboró en la Cátedra de Fisiología Animal de la Universidad de Barcelona.
Trabajo en el campo médico en laboratorio privado de Análisis Clínicos.*

efectos de la acción mecánica de las vibraciones en el organismo humano

DEFINICION Y CAMPO DE ESTUDIO

En este trabajo se estudia la acción de las vibraciones mecánicas sobre el organismo que entra en contacto con ellas, atendiendo a los diversos aspectos que pueden modificar dicha acción y a los efectos a los que ésta pueda dar origen en el cuerpo humano.

Quedan excluidas de este estudio la acción y efectos de aquellas vibraciones que sólo se perciben como sonidos, y, por el contrario, se incluyen los de aquellos sonidos que además pueden ser percibidos como vibraciones por una u otra parte del cuerpo humano.

METODOS DE ESTUDIO

La acción de las vibraciones sobre el cuerpo humano a que se refiere el apartado anterior, se puede realizar básicamente, de cuatro formas distintas:

Estudios clínicos

Estos se llevan a cabo en individuos que en razón de su trabajo se encuentran sometidos a vibraciones de diverso

origen y características, intentando relacionar éstas con los efectos producidos. Este tipo de estudios se basa en la investigación de sujetos que han estado bajo la acción de dichas vibraciones durante periodos de muy diversa duración (que puede llegar a ser de muchos años) y en circunstancias muy distintas (frecuencia, intensidad, dosis, etc.) en cuanto a las características de la vibración.

Experimentación humana

Puesto que la acción y los efectos de las vibraciones sobre el organismo ofrecen evidentes dificultades para su estudio experimental en seres humanos, éste queda restringido a ensayos de corta duración y cuyos efectos sean inocuos.

Experimentación animal

Las experiencias más amplias se han realizado con animales, pero ofrecen la desventaja de que sus resultados, por múltiples razones, no siempre son aplicables al hombre, y por tanto, su validez en tal sentido es en muchos casos discutible.

Modelos mecánicos

En determinados casos se recurre al estudio en modelos mecánicos simplificados, contruidos a base de masas y

resortes, que se comportan frente a las vibraciones de manera similar a como lo haría el cuerpo humano.

Ofrece la ventaja de que permite conocer la respuesta de determinadas partes o articulaciones del modelo mecánico.

CARACTERISTICAS DE LAS VIBRACIONES

Una vibración se puede definir como la oscilación de partículas alrededor de un punto de equilibrio, en un medio físico cualquiera.

En consecuencia, los efectos de cualquier vibración sólo podrán comprenderse en términos de una transferencia de energía al cuerpo humano, que actúa como receptor de energía mecánica.

Las vibraciones mecánicas que nos conciernen abarcan un rango de frecuencias que va desde 0,1 Hz. hasta unos pocos centenares de Hz.

Además de la frecuencia, para caracterizar un movimiento de este tipo hay que indicar la aceleración a que se encuentra sometida toda partícula afectada. La aceleración se puede expresar tomando como unidad la de la gravedad ($G = 9,81 \text{ m/seg}^2$), o bien el m/seg.^2 . En ocasiones no se indica la aceleración sino la amplitud de la vibración expresada en unidades de longitud.

En la práctica, importa también la orientación del movimiento respecto al cuerpo; los movimientos vibratorios lineales pueden referirse a los tres ejes x, y, z, que, a su vez, en relación al cuerpo humano representan los ejes dorsiventral (pecho-espalda), lateral (brazo-brazo) y longitudinal (cabeza-pies), respectivamente. Los movimientos vibratorios rotacionales pueden ser alrededor de cada uno de esos tres ejes.

LA VIBRACION EN EL CUERPO HUMANO

Biodinámica de las vibraciones

La medida en que la energía mecánica ambiental es capaz de inducir vibraciones en el tejido corporal, es lo que se conoce como impedancia, en sentido estricto, limitando el concepto a este problema concreto. Así, cuando la superficie de un cuerpo transmite en todas direcciones una porción elevada de la energía vibratoria que le llega del exterior, se dice que la impedancia es baja; si, por el contrario, la mayor parte de la energía que llega a la interfase entre el medio ambiente y el cuerpo es reflejada y no se transmite a éste, se dice que la impedancia es alta.

De hecho, la impedancia de los cuerpos para la vibración viene determinada por sus propiedades fundamentales: inercia, elasticidad y fricción. La reactancia debida a la masa, la reactancia elástica y la reactancia a la fricción son los tres términos, derivados de cada una de ellas, respectivamente, cuya suma equivale a la impedancia total de un sistema complejo. A determinadas frecuencias, la reactancia debida a la masa y la reactancia elástica se pueden equilibrar y en consecuencia la amplitud del movimiento vibratorio en el cuerpo (o sistema) es mucho mayor que a otras frecuencias, y se dice que está en resonancia.

Para las vibraciones verticales (según el eje z), en el gráfico n° 1 puede verse, la relación de aceleraciones entre distintas partes del cuerpo y la superficie de la mesa, sobre la que el individuo se supone está situado de pie, en función de la frecuencia de la vibración. Puede observarse que para la cadera, hombros y cabeza, hay una zona de resonancia entre los 3 y 6 Hz.

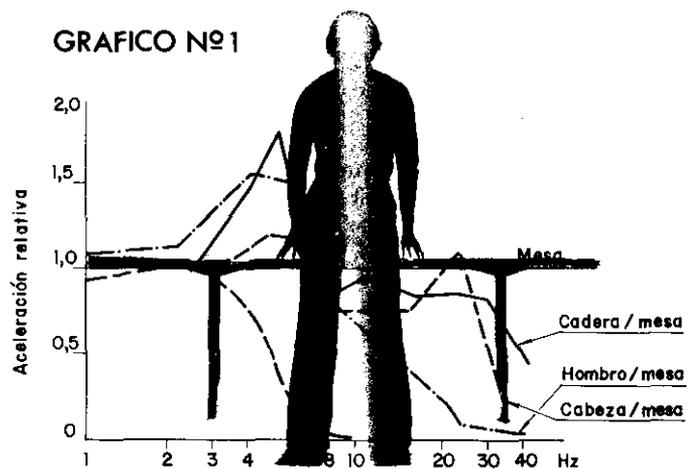
Lo mismo puede comprobarse en el gráfico n° 2, para un individuo sentado, pero además en este se observa que hay una zona de resonancia muy marcada sobre 20-40 Hz. que afecta a la cabeza-hombros, cabeza y nuca.

También entre 60 y 90 Hz. existe una zona de resonancia que afecta a los ojos, y entre 100 y 200 Hz. otra que afecta a la mandíbula.

Propagación de la vibración y causas que la modifican

Cuando el cuerpo se pone en contacto con una super-

GRAFICO Nº 1



ficie en vibración, tiene lugar la transmisión de ondas vibratorias desde la zona de contacto hacia el resto del cuerpo, lo mismo en superficie que en profundidad; es decir, que dicha zona se convierte en punto de origen de ondas radiantes, cuya frecuencia y amplitud dependen de muchos factores.

Una vibración como la descrita se dice que es de tipo localizado.

En ocasiones, sin embargo, todo el cuerpo es afectado a la vez, y cada una de sus partes responde a tenor del movimiento vibratorio que le llega, entonces se dice que es de tipo generalizado.

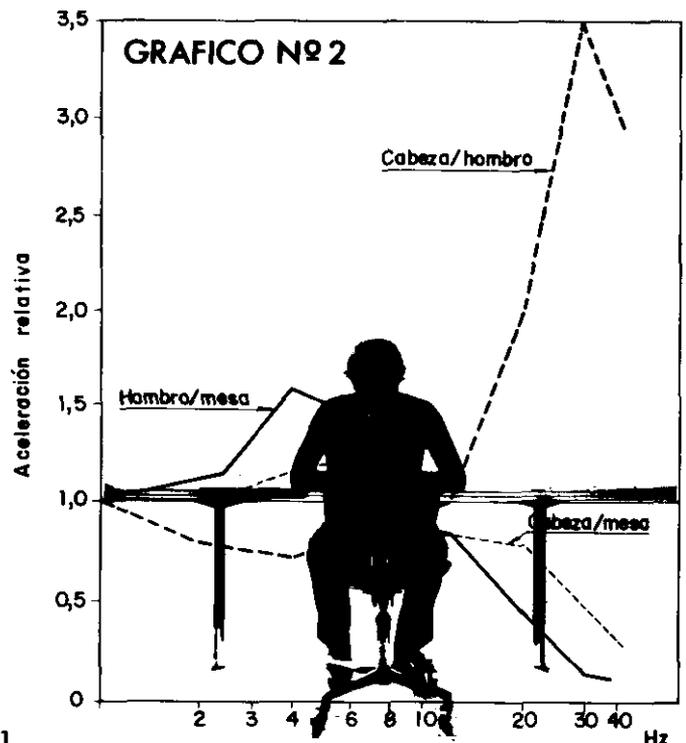
De hecho, como se ha apuntado, son numerosas las causas que pueden hacer variar la respuesta del cuerpo frente a una misma vibración, tanto si ésta es localizada como si es generalizada.

Dichas causas pueden ser: extrínsecas al propio cuerpo, y que por tanto no tienen nada que ver con sus características, sino con las del propio movimiento vibratorio que llega del exterior y su propagación, e intrínsecas que sí dependen de las características de aquel y no de la vibración en sí.

Causas extrínsecas

Entre ellas cabe destacar las siguientes:

Frecuencia de la vibración . Variación de la vibración en el tiempo . Amplitud de la vibración . Dirección de la vibración . Punto de aplicación de la vibración . Interacción entre el cuerpo y la energía absorbida . Efecto de las prendas de vestir.



Causas intrínsecas

Entre ellas cabe destacar las siguientes:

Tamaño del cuerpo . Postura corporal . Tensión del cuerpo

Percepción de las vibraciones

La percepción de las vibraciones está íntimamente relacionada con la percepción de las aceleraciones, y como es sabido una parte del laberinto actúa como órgano especializado en este sentido. El utrículo y el sáculo provistos de otolitos, responden a las aceleraciones lineales, mientras los canales semicirculares con sus crestas acústicas lo hacen a las angulares, merced al líquido o endolinfa que llena el sistema y cuyo estado de equilibrio se altera por efecto del movimiento.

Repartidas por todo el cuerpo existen, además, una serie de terminaciones nerviosas más o menos especializadas en la percepción de la presión y de las vibraciones que informan al sujeto.

Dichos receptores se encuentran fundamentalmente en la piel, músculos, tendones y articulaciones.

La sensación que experimenta el sujeto expuesto a una determinada vibración depende, en cada caso concreto, de su amplitud y frecuencia, y puede ir desde la simple percepción hasta la molestia insoportable, o la sensación compleja, en ciertos casos, que conocemos como dolor. En el gráfico núm. 3 pueden observarse las tres curvas correspondientes a tres niveles subjetivos de sensación: vibración perceptible, molesta, e intolerable. Para cada frecuencia, puede observarse que el nivel de respuesta viene fijado por la aceleración del movimiento.

Efectos de las vibraciones

Los efectos de las vibraciones sobre el organismo dependen de los mismos factores que se han descrito en el apartado correspondiente a propagación de la vibración y causas que la modifican.

Por ello existe una estrecha correlación entre los efectos producidos y la frecuencia y amplitud de los movimientos vibratorios que han estado actuando sobre el individuo. Pero debemos indicar aquí, que, en su conjunto, la problemática de tales efectos ha sido muy poco estudiada salvo algunos casos de aplicación muy concreta.

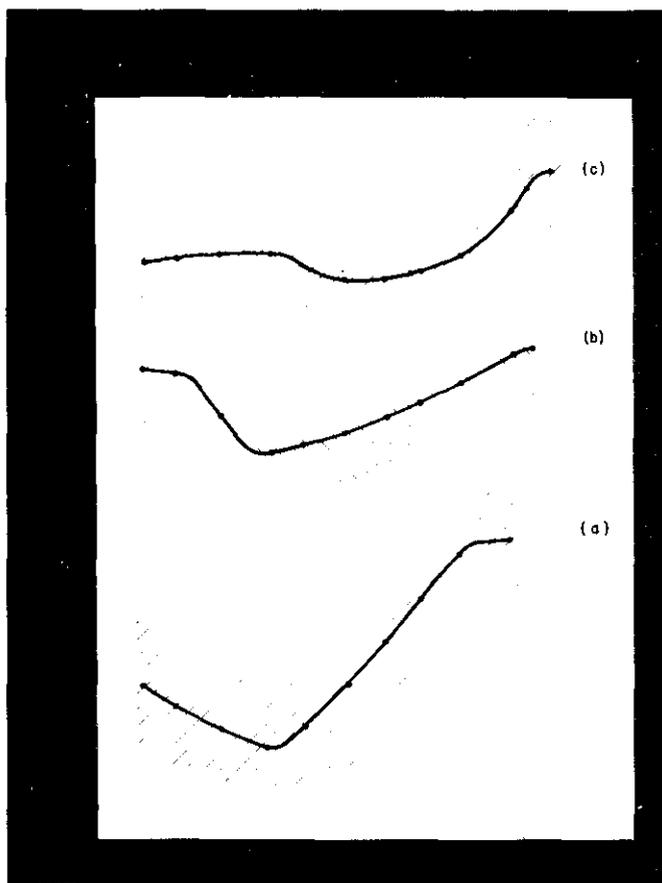
No debe olvidarse que, en realidad, los problemas que pueden acarrear las vibraciones para el individuo no son sólo higiénicos, sino también ergonómicos y de seguridad, a veces sin solución de continuidad entre ellos.

En el cuadro I se indican las frecuencias de las vibraciones de aparatos, máquinas o herramientas tipo que las producen, y sus efectos sobre el organismo.

Digamos que en las vibraciones de frecuencia muy baja (<1,5 Hz) son muchos los factores que influyen en la aparición del mareo (que puede permanecer un cierto tiempo después de finalizada la exposición) siendo el papel que juega cada uno de ellos, poco conocido. Merecen ser destacados entre otros: las horas de las comidas, tipos de alimentos ingeridos, temperatura, habituación a este tipo de vibraciones, etc. En conjunto, los efectos que producen constituyen un problema de tipo ergonómico.

Las vibraciones de frecuencia baja (1,5 - 1,6 Hz), que pueden ser producidas por muchos tipos de máquinas y medios de transportes, producen efectos mecánicos como la lesión del tejido conjuntivo de los intestinos. Los trastornos de visión se deben a que en este rango de frecuencia se encuentran en resonancia la cabeza (3-6Hz) y, parece ser que de una manera especial, los globos oculares en sus cuencas (3Hz), lo que puede dar lugar a graves problemas de seguridad si el sujeto afectado por la vibración debe efectuar lecturas de indicadores que influyan en el manejo de máquinas potencialmente peligrosas.

En general, es en este margen de frecuencia donde más importancia tienen los fenómenos citados de absorción y amplificación de la vibración y su relación con la postura, punto de aplicación, etc., ya citados.



Las frecuencias altas (>16) pueden producir efectos locales o generalizados, pero siempre peligrosos, aunque dependiendo del tipo de herramienta, de la frecuencia de la vibración dominante y de su amplitud según puede verse en el mismo cuadro I.

El fenómeno de Raynaud se manifiesta intermitentemente por palidez y luego cianosis de las manos, estimulada por el frío. Como enfermedad profesional se presenta a consecuencia del trabajo con herramientas vibradoras que provocan trastornos circulatorios y sensoriales y se manifiestan tras varios años de exposición.

La exposición generalizada de todo el cuerpo puede provocar lesión nerviosa con pérdida de sensibilidad en las piernas que son las primeras en resultar afectadas.

CRITERIOS DE EXPOSICION

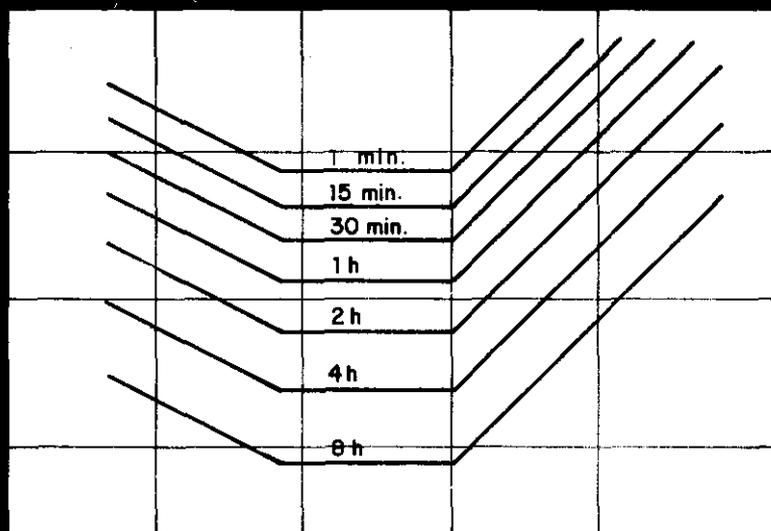
Como es lógico, en la práctica interesa a toda costa evitar que el individuo profesionalmente expuesto a las vibraciones pueda sufrir lesión alguna a consecuencia de las mismas.

La I.S.O (International Standard Organization) ha propuesto unas curvas de exposición a la vibración que se muestran en el gráfico núm. 4. En el gráfico aparecen en ordenadas las aceleraciones y en abscisas las frecuencias. Las distintas curvas corresponden a los tiempos de trabajo que producen igual pérdida de eficacia debida a la fatiga para cada frecuencia y aceleración. La exposición a una determinada vibración por un tiempo superior al indicado en las curvas puede causar fatiga profunda y rendimiento bajo. Como criterio para el riesgo de lesión, se considera que equivale al doble de la aceleración que correspondería según la curva, para un tiempo de permanencia y una frecuencia dados.

El límite del confort reducido es de un tercio de la aceleración para un tiempo y frecuencia dados.

CUADRO Nº 1

| Vibración | Máquinas o herramientas tipo | Efectos | |
|---|--|---|--|
| <p>Muy baja frecuencia < 1,5 Hz.</p> <p>Baja frecuencia 1,5 a 16 Hz.</p> | <p>Medios de transporte: coches, aviones, tren, barco etc.</p> <p>Vehículos de pasajeros e industriales y máquinas motorizadas: camiones, tractores, equipos de excavación, trenes, helicópteros, etc.</p> | <p>Estimulación del laberinto provocando trastornos en el S.N.C. Puede llegar a producir mareos y vómitos de intensidad diversa. Influencia de muchos factores.</p> <p>Sometimiento de las estructuras óseas y de los distintos órganos a tensiones simultáneas y opuestas, puede ocasionar sobre-estrés y lesión de ciertos tejidos (intestino). Efectos acumulativos. Aumento de consumo de oxígeno, respiración forzada. Síntomas neurológicos: variación del ritmo cerebral, dificultad para el equilibrio, abolición del reflejo patelar. Trastornos de visión por resonancia.</p> | |
| Alta frecuencia 16 a 1000 Hz. | 40 Hz – Amplitud: varios centímetros. | Perforadoras neumáticas. | Lesiones osteoarticulares que en algunos países reciben compensación económica. |
| | 40-300 Hz – Amplitud: 1 mm. | Martillos y perforadoras neumáticas, sierras, etc. | Al cabo de varios años de exposición se presentan trastornos vasomotores, fundamentalmente en las manos dando origen al fenómeno de Raynaud. |
| | > 300 Hz – Amplitud: muy baja (0,01 mm.). | Pulidoras y desbastadoras. | Se producen trastornos en huesos, articulaciones, músculos, vasos sanguíneos y nervios de las manos y hombros. |



BIBLIOGRAFIA

- Lyle F. Yerges - *Sound, noise and vibration control*. New York, Van Nostran Reinhold Company, 1969.
- Jens Trampe Broch - *The application of the Brüel & Kjaer Measuring Systems to mechanical vibration and shock measurements*. Denmark, Naerum, Ed. Brüel & Kjaer, 1972.
- N. Balfour Slonim - *Environmental Physiology*. Saint Louis, The C.V. Mosby Company, 1974.
- *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* - Geneva, International Labour Office, 1972.
- Taylor W. - *The vibration Syndrome. Proceedings of a Conference on the Medical Engineering and legal aspects of hard-arm vibration*, at University of Dundee, (from 12 to july, 1972). London, Academic Press, 1974.