

surface of a target. Unscattered microwave energy penetrates much more deeply. If 1,000-MHz microwave energy is incident on the head of a human being, a significant portion of the energy will penetrate the skull and be captured by tissues of the brain. One of the hazards of microwave energy is that the warning sensations of warmth so readily produced by infrared energy through stimulation of surface receptors may not occur to exposures to fairly high densities of microwave energy until thermal damage has resulted.

The mechanism of microwave heating of biological materials is fairly well understood and derives from two electrophysical properties of water. First, the molecule of water is polarized; it carries a charge that differs over its surface. The result is an electrical dipole, a molecule that reorients when an external electrical field is impressed on it, even as bits of paper are attracted to or repelled by an electrostatically charged rod. Water's second property is a high molecular viscosity, or what is technically termed a lengthy relaxation time. If its relaxation time is short, a polarized molecule can reorient itself with ease in an oscillating electrical field. Molecules of water are unable to orient and reorient completely in a rapidly oscillating electrical field, and so their high viscosity results in "molecular friction"; much of the microwave energy incident on a biological target can therefore be "lost" or dissipated as heat.

The amount of radio-frequency energy absorbed by a target is a positive function of the target's electrical conductivity, a negative function of its dielectric constant, and to complicate matters, both the conductive and dielectric character of biological materials are frequency- and temperature-dependent. The wave conformation of radiated radio-frequency energy is also a variable that controls absorption; the electric field is at right angles to the magnetic field, and both are at right angles to the line of propagation of the electromagnetic wave. Energy will couple to a biological target either from the electric or from the magnetic field, but the amount coupled will change as functions both of the relative wavelength and of the relative geometry of the target with respect to the vectors of the electric and magnetic fields (see Figure 2).

The quantity of kinetic energy in a propagating electromagnetic field is reckoned by Poynting's vector and is technically termed "power flux density." This density is the quantity of energy that flows in time through a measured plane of space.

The quantity of energy is determined by the densitometer and is scaled in terms of watts per square meter (W/m^2) or watts per square centimeter (W/cm^2). A rough rule of thumb for estimating absorption of radio-frequency energy can be applied to the case in which the physical dimensions of a biological target are large with respect to the wavelength of the radio-frequency energy that is incident on it: Approximately half of the energy is absorbed and the remainder is scattered. Another rule of thumb applies when the physical dimensions of a target are much smaller than the wavelength of the incident energy: The target becomes electrically translucent or transparent and little or no energy is absorbed. As the physical dimensions of a biological target approach the wavelength of a radio-frequency radiation, an extremely complex scattering function occurs, a succession of valleys and peaks, and either very little or a great deal of energy is absorbed. Maximum absorption occurs at and defines resonance and may exceed the nominal amount of energy that is incident on the target. At resonance the effective electrical capture surface presented by a "lossy" target of low electrical conductivity may

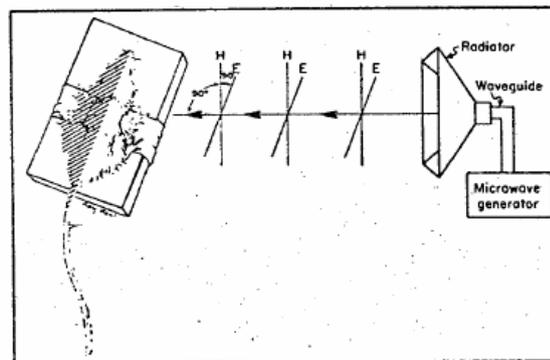


Figure 2. Idealized schematic representation of radiation of a biological target in the open or free field, the traditional method of exposing animals to microwaves. (In practice, the inside surfaces of a laboratory are covered with energy-absorbing material that prevents reflection of energy to the target. The animal is shown in restraint—necessary, unless the subject is anesthetized, because changes of body geometry will alter the capture-surface exposed to radiations. The H and the E, respectively, refer to the magnetic and electric vectors of a plane wave, transverse field; the flow vector [or line of propagation] is depicted by arrows that point to the animal.)

****surface**** d'une cible. L'énergie micro-ondes non diffusée pénètre beaucoup plus profondément. Si une énergie micro-ondes de 1 000 MHz est incidente sur la tête d'un être humain, une partie significative de l'énergie pénétrera le crâne et sera capturée par les tissus du cerveau. L'un des dangers de l'énergie micro-ondes est que les sensations d'avertissement de chaleur, si facilement produites par l'énergie infrarouge via la stimulation des récepteurs de surface, peuvent ne pas se produire lors d'expositions à des densités assez élevées d'énergie micro-ondes avant que des dommages thermiques n'en résultent.

Le mécanisme de chauffage par micro-ondes des matériaux biologiques est assez bien compris et découle de deux propriétés électrophysiques de l'eau. Premièrement, la molécule d'eau est polarisée ; elle porte une charge qui diffère sur sa surface. Le résultat est un dipôle électrique, une molécule qui se réoriente lorsqu'un champ électrique externe lui est appliqué, tout comme des morceaux de papier sont attirés ou repoussés par une tige électrostatiquement chargée. La deuxième propriété de l'eau est une viscosité moléculaire élevée, ou ce qui est techniquement appelé un temps de relaxation long. Si son temps de relaxation est court, une molécule polarisée peut se réorienter facilement dans un champ électrique oscillant. Les molécules d'eau sont incapables de s'orienter et de se réorienter complètement dans un champ électrique oscillant rapidement, et donc leur haute viscosité résulte en une « friction moléculaire » ; une grande partie de l'énergie micro-ondes incidente sur une cible biologique peut donc être « perdue » ou dissipée sous forme de chaleur.

La quantité d'énergie de radiofréquence absorbée par une cible est une fonction positive de la conductivité électrique de la cible, une fonction négative de sa constante diélectrique, et, pour compliquer les choses, le caractère à la fois conducteur et diélectrique des matériaux biologiques dépend de la fréquence et de la température. La conformation d'onde de l'énergie de radiofréquence rayonnée est également une variable qui contrôle l'absorption ; le champ électrique est à angle droit par rapport au champ magnétique, et tous deux sont perpendiculaires à la ligne de propagation de l'onde électromagnétique. L'énergie se couplera à une cible biologique soit à partir du champ électrique, soit à partir du champ magnétique, mais la quantité couplée changera en fonction à la fois de la longueur d'onde relative et de la géométrie relative de la cible par rapport aux vecteurs des champs électrique et magnétique (voir Figure 2).

La quantité d'énergie cinétique dans un champ électromagnétique en propagation est calculée par le vecteur de Poynting et est techniquement appelée « densité de flux de puissance ». Cette densité est la quantité d'énergie qui circule dans le temps à travers un plan mesuré de l'espace. La quantité d'énergie est déterminée par le densitomètre et est mesurée en termes de watts par mètre carré (W/m^2) ou de watts par centimètre carré (W/cm^2). Une règle empirique approximative pour estimer l'absorption de l'énergie de radiofréquence peut être appliquée au cas où les dimensions physiques d'une cible biologique sont grandes par rapport à la longueur d'onde de l'énergie de radiofréquence qui lui est incidente : environ la moitié de l'énergie est absorbée et le reste est diffusé. Une autre règle empirique s'applique lorsque les dimensions physiques d'une cible sont beaucoup plus petites que la longueur d'onde de l'énergie incidente : la cible devient électriquement translucide ou transparente et peu ou pas d'énergie est absorbée. Lorsque les dimensions physiques d'une cible biologique approchent la longueur d'onde d'un rayonnement de radiofréquence, une fonction de diffusion extrêmement complexe se produit, une succession de creux et de pics, et soit très peu, soit énormément d'énergie est absorbée. L'absorption maximale se produit à la résonance et la définit, et peut dépasser la quantité nominale d'énergie incidente sur la cible. À la résonance, la surface de capture électrique effective présentée par une cible « dissipative » (lossy) de faible conductivité électrique peut

****Figure 2.**** Représentation schématique idéalisée du rayonnement d'une cible biologique en champ libre ou ouvert, la méthode traditionnelle d'exposition des animaux aux micro-ondes. (En pratique, les surfaces intérieures d'un laboratoire sont recouvertes d'un matériau absorbant l'énergie qui empêche la réflexion de l'énergie vers la cible. L'animal est montré en contention — nécessaire, à moins que le sujet ne soit anesthésié, car des changements de géométrie corporelle altéreront la surface de capture exposée aux rayonnements. Le H et le E se réfèrent respectivement aux vecteurs magnétique et électrique d'une onde plane, champ transverse ; le vecteur de flux [ou ligne de propagation] est représenté par des flèches pointant vers l'animal.)

AMERICAN PSYCHOLOGIST • MARS 1975 • 393
