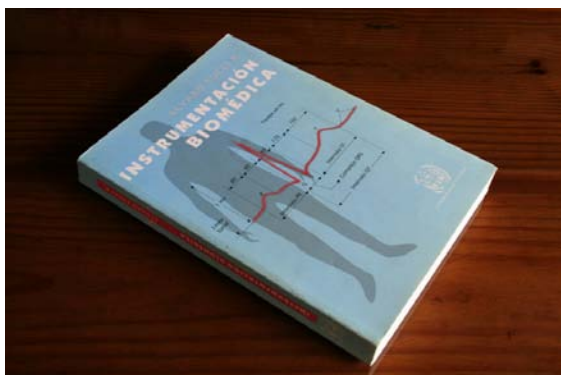


LIBROS DEL PROFESOR ALVARO TUCCI REALI

El Prof. Álvaro Tucci Reali es Profesor Titular Jubilado de la Facultad de Medicina de la Universidad de Los Andes, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones egresado del The Northern Polytechnic de Londres en 1963 e Ingeniero Electricista egresado de la Universidad de Los Andes en 1971.

INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA



El aumento de la población mundial y las crecientes necesidades sanitarias han impulsado a la ciencia biológica y a la ingeniería a colaborar estrechamente a fin de producir nuevos y mejores instrumentos biomédicos.

La bioelectrónica es la rama del conocimiento destinada al desarrollo de instrumental electrónico para el diagnóstico y tratamiento en las áreas relacionadas con la biología, la salud y la vida. Ingenieros, médicos y biólogos desarrollan instrumentos que permiten medir, valorar y observar parámetros biológicos que hacen algunos años eran impensables.

Este libro consta de diez capítulos; en el primero se expone una sucinta reseña histórica de algunos acontecimientos médico-científicos que nos llevaron al actual desarrollo, haciendo especial énfasis en la instrumentación. Se resaltan algunos datos históricos importantes producidos en este interesante campo.

Los cuatro capítulos siguientes “tienden el puente”. En ellos se repasan ciertos aspectos que ayudan al ingeniero a introducirse en la biología y al médico a adentrarse en la ingeniería.

Los cinco capítulos restantes están dedicados a describir de la forma más simple posible el funcionamiento de instrumentos específicos, sin recurrir a conceptos matemáticos avanzados o al análisis detallado de los circuitos electrónicos.

Los instrumentos se describen por medio de bloques funcionales; excepcionalmente se analizan los circuitos y sistemas que componen los bloques, de manera que puedan ser interpretados según la disciplina a la cual pertenezca el lector.

El libro incluye dos apéndices; uno relacionado con la seguridad eléctrica hospitalaria y en el otro se recogen algunos términos médicos. Al autor le hubiera gustado disponer de un texto semejante cuando, como ingeniero en electrónica, tuvo que “enfrentarse” con el instrumental médico.

Algunos párrafos del libro relacionados con el ultrasonido.

Los primeros materiales que se emplearon para la generación del ultrasonido fueron el de cuarzo y la sal de Rochelle. Luego fueron reemplazados por cristales sintéticos como los de titanato de bario, sulfato de litio o zinconato y titanato de plomo. Estos últimos, más estables con las variaciones de temperatura, tienen mayor rendimiento y menor costo.

El cristal piezoeléctrico debe estar conectado a dos electrodos, uno en contacto con la superficie de su

cara anterior y el otro con la posterior. Estos contactos se obtienen por la deposición de una película metálica evaporada.

Los cristales son montados en cabezales que se comunican con el resto del equipo por medio de un cable que contiene varios conductores. La forma y dimensiones del cabezal permiten su fácil manipulación.

Los cabezales presentan una ventana de plástico que se coloca en contacto con el paciente. De ella emergen y se reciben las señales de ultrasonido. La lámina de plástico actúa como protección mecánica del cristal.

Para máxima transferencia de energía entre el cabezal y la piel es necesario un buen acoplamiento, el cual se logra mediante la eliminación de la capa de aire que pudiera existir entre ellos. El aire es una barrera casi infranqueable para los ultrasonidos, debido a que en ese medio se atenúa rápidamente. La capa de aire se "desaloja" si se coloca entre ambas superficies un estrato de aceite. El acoplamiento puede optimizarse seleccionando su viscosidad.

Por la experiencia diaria relacionada con el sonido, se sabe que se propaga en todas direcciones y es muy difícil focalizarlo. Afortunadamente con las altas frecuencias se pueden producir haces delgados, bien dirigidos y muy poco divergentes.

Si los haces emergentes de un transductor tienen esas características, y además se enfocan, pueden producir imágenes de alta resolución. El enfoque se logra mediante el empleo de un cristal cóncavo que actúa en forma similar a un lente óptico o por un arreglo de cristales que se excitan en forma secuencial y enfocan el mismo punto....

Algunos párrafos relacionados con la conducción nerviosa

Algunos años más tarde, el fisiólogo alemán Hermann von Holmholtz (1821-1894) supuso que el impulso nervioso se propagaba como lo hace la corriente eléctrica en un conductor.

Con la finalidad de verificar esta hipótesis, sabiendo que la velocidad de propagación de la corriente a lo largo de un conductor es de unos 300.000 km/seg, realizó un experimento destinado a medir la velocidad del impulso nervioso a lo largo de un nervio. Después de varias observaciones comprobó que la velocidad era de unos dos millones y medio de veces menor que la esperada. Investigaciones posteriores demostraron que la máxima velocidad de propagación registrada en algunos nervios de mamíferos alcanza unos 120 m/seg.

Los resultados experimentales de Holmholtz tan alejados de lo esperado obligaban a buscar otras formas de propagación. Un indicio lo aportaba el hecho que la velocidad de conducción nerviosa, lo

mismo que en las reacciones químicas, dependía de la temperatura, lo cual sugería que la propagación podía ser de naturaleza electroquímica.

Aquí cabe establecer la diferencia entre corriente eléctrica como flujo de electrones y corriente iónica. La corriente eléctrica que fluye por un conductor está formada por electrones libres cuyo movimiento se propaga a la velocidad de la luz; en tanto que la corriente iónica formada por partículas o iones, que no son más que átomos o grupos de átomos cargados eléctricamente, se propaga por un electrolito a velocidades mucho menores.

Cuando la corriente de electrones fluye por un conductor su paso no altera su constitución, mientras que el flujo de la corriente iónica puede producir reacciones químicas y transporte de materia. La corriente que fluye a lo largo de los nervios es corriente iónica.

Otro fenómeno que llamó la atención fue el hecho de que a pesar de ser el nervio un mal conductor de electricidad, el impulso que lo recorre no se atenúa. Este hecho, que intrigó por mucho tiempo a los investigadores, puede ser comprobado por medio del siguiente experimento: Si se coloca un electrodo fuera de la neurona y otro en su interior se detecta una diferencia de potencial de unos 70 mV, siendo la parte interna negativa con respecto a la externa. A este potencial se le llama *potencial de reposo*.

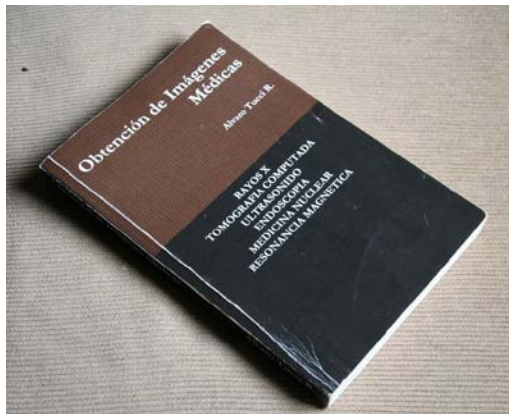
Cuando el axón se estimula registra una breve inversión de polaridad; la parte interna se vuelve positiva respecto a la externa. A la nueva polaridad se le llama *potencial de acción*. Para medir la velocidad de propagación del potencial de acción se coloca otro par de electrodos a una distancia conocida de los primeros y se mide el tiempo que tarda en aparecer el cambio de polaridad. Además, con esto se verifica que no se produce atenuación puesto que el valor del potencial de acción permanece inalterado.

El potencial de acción es el que "viaja" a lo largo de la membrana a la velocidad de algunos milímetros por segundo en los nervios no mielinizados y a decenas de metros por segundo en los mielinizados.

OBTENCIÓN DE IMÁGENES MÉDICAS.

El diagnóstico por imagen es un procedimiento no invasivo, rápido, limpio y seguro. Utiliza un conjunto de técnicas que producen imágenes de las estructuras internas y del funcionamiento del cuerpo humano. Ayuda a detectar posibles anomalías y aporta valiosos detalles para que el médico pueda llegar al diagnóstico acertado y documentado. Por tal motivo, la mayoría de las prácticas médicas modernas están asociadas a la imagenología.

Este libro, dirigido a médicos, ingenieros, estudiantes y técnicos tiene por objetivo suministrar una síntesis



de los procesos de formación de las imágenes indispensables para la comprensión de publicaciones más especializadas. Podría ser considerado como el primer contacto con estas modernas tecnologías de diagnóstico.

En los seis capítulos de esta obra se expone en forma sencilla y amigable una visión general de los principios físicos y fisiológicos de la forma cómo los equipos médicos producen imágenes.

Rayos X

Formación de imágenes utilizando rayos X. Naturaleza de los rayos X, generación y equipos de rayos X convencionales. Equipos y técnicas especiales como fluoroscopia, angiografía, mamografía y radiología digital.

Tomografía computada

Planos tomográficos, Tipos de escáner, configuración de adquisición y procesamientos de datos. Componentes del tomógrafo. La tomografía.

Ultrasonografía

Naturaleza, características, propagación y generación de ultrasonidos. Técnicas de exploración. Técnica Doppler. Aplicaciones clínicas. Elastografía. Ultrasonografía 4D. Litotricia. Ultrasonido enfocado de alta intensidad.

Endoscopia

El endoscopio, Ultrasonografía endoscópica. Endoscopia por cápsulas. Cromoendoscopia.

Medicina nuclear

Radiactividad. Isótopos radiactivos. Procesos radiactivos. Producción de radioisótopos. Detectores de radiación. Radioimágenes. Cámara gamma, Tomografía por emisión de fotón único (SPETC). Tomografía por emisión de positrones (PET).

Resonancia magnética

Física de la resonancia magnética. Obtención de imágenes. Componentes de un equipo de resonancia magnética. Angiografía con resonancia magnética (MRA). Resonancia magnética funcional (fMRI).

Algunos párrafos del libro relacionados con la fluoroscopia

La fluoroscopia es una técnica no invasiva frecuentemente empleada en medicina para obtener imágenes en tiempo real de las estructuras internas del cuerpo. El instrumento empleado para obtenerlas es el fluoroscopio que en su forma más simple consta de una fuente de rayos X y una pantalla fluorescente entre las que se sitúa el paciente. Un instrumento de fabricación reciente se muestra en la figura 1.24

En los fluoroscopios modernos se acopla a la pantalla un intensificador y una cámara de video, lo que permite que la imagen sea observada y grabada.

Mientras dure el estudio la emisión de rayos X es constante, los rayos X inciden continuamente sobre en la zona de interés de forma que los órganos o tejidos son observados en tiempo real. Aunque la emisión es continua, la dosis por imagen que recibe el paciente es pequeña en comparación con la radiografía tradicional.

El instrumento, además de posibilitar la observación de los órganos internos en movimiento, también es empleado en la cirugía guiada por imágenes (*Image-guided surgery*). Durante la intervención va mostrando al cirujano la posición de los instrumentos quirúrgicos en relación con los órganos y tejidos. En cirugía ortopédica, por ejemplo, guía la reducción de la fractura y la colocación de prótesis metálicas.

Generalmente las imágenes fluoroscópicas no son empleadas para el diagnóstico, son utilizadas preferentemente para colocar un catéter y observar en el monitor la maniobra de posicionamiento, para analizar el tránsito de sustancias radio-opacas por los órganos internos o en los vasos sanguíneos, o para colocar en su sitio el marcapaso cardíaco. Los órganos internos se observan gracias al empleo de material de contraste, que por tener alta densidad absorbe la radiación.

Los equipos de fluoroscopia modernos permiten una amplia variedad de aplicaciones, desde los exámenes gastrointestinales y urogenitales hasta los exámenes radiológicos rutinarios. Se construyen con el tubo de rayos X colocado en lo alto de la mesa del paciente (*Over-table system*) y con el tubo debajo la mesa (*Under-table system*). Estos sistemas son adecuados para personas de perfiles muy variados, desde pacientes pediátricos hasta adultos muy obesos y la dosis aplicada es generalmente baja. También se construyen sistemas multifuncionales, adecuados para la fluoroscopia y la angiografía. Esta versatilidad conduce a exámenes más rápidos y a menor costo.

Algunos párrafos relacionados con la resonancia magnética

La Resonancia Magnética Nuclear es una poderosa herramienta que suministra imágenes de alta calidad de los tejidos y de las estructuras internas del cuerpo en un tiempo clínicamente razonable. La imagen que genera es precisa, con finos detalles y con mejor contraste de órganos y tejidos blandos del que pudiera obtenerse con ultrasonidos u otros métodos tomográficos. Se le conoce con los nombres de Resonancia Magnética Nuclear (RMN), Nuclear Magnetic Resonance (NMR) y actualmente en inglés se le llama *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). Proporciona cortes más finos y en varios planos sin que el paciente cambie de posición, permite añadir contraste paramagnético para delimitar aún más las estructuras, pero necesita más tiempo para generar la imagen. Aparte de las aplicaciones en medicina, esta técnica espectroscópica también se emplea para obtener información física y química de las moléculas.

Las exploraciones más frecuentes son de tórax, abdominales, craneales, lumbosacras, cardíacas, columna vertebral, cerebro, médula espinal y articulaciones. Es ideal para detectar, entre otras patologías, accidentes vasculares del cerebro y tumores....

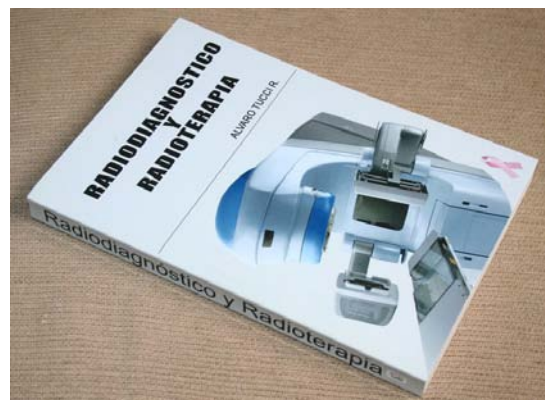
Algunos párrafos relacionados con la resonancia magnética funcional

La resonancia magnética funcional (*Functional Magnetic Resonance Imaging* o fMRI) es una técnica utilizada para medir la actividad cerebral. Puede emplearse para producir mapas que muestran las partes del cerebro involucradas en un proceso mental particular. Las imágenes de los cambios hemodinámicos en el cerebro relacionados con los procesos mentales, van más allá cualquier imagen anatómica.

La fMRI basa su funcionamiento en la detección de los cambios del flujo sanguíneo en zonas neurológicamente activas. Las neuronas no tienen reservas internas de oxígeno y glucosa; su activación requiere de un rápido aporte de energía. Al aumentar la actividad neuronal se incrementa la demanda de oxígeno, el sistema vascular reacciona suministrando mayor cantidad de hemoglobina oxigenada relativa a la desoxigenada, la cual es suministrada por los capilares cercanos. La hemoglobina desoxigenada puede ser considerada un agente que mejora el contraste y actúa como fuente de señales de resonancia.

Hasta la década de 1990, las opciones disponibles para obtener una imagen funcional eran engorrosas, tenían poca resolución espacial y requerían la inyección de un trazador radioactivo en el torrente sanguíneo, de manera que el paciente no podía ser examinado frecuentemente.

RADIODIAGNÓSTICO Y RADIOTERAPIA.



El radiodiagnóstico y la radioterapia son procedimientos rápidos, limpios, seguros, no invasivos o mínimamente invasivos que se han utilizado en forma continua desde el descubrimiento de las radiaciones ionizantes.

Los rayos X se emplean en procedimientos diagnósticos como fluoroscopia, angiografía, mamografía, estudios tomográficos y densitometría ósea. Las radiaciones nucleares, aparte de ser utilizadas para irradiar células cancerosas, han dado origen a instrumentos tan valiosos como la gammacámara, SPETC y PET, que por medio de sus imágenes suministran información funcional y documentada de diversos órganos. Finalmente, las radiaciones generadas por el acelerador lineal son utilizadas para combatir neoplasias.

Este libro expone en forma sencilla y amigable una visión general de cómo se generan y se emplean las radiaciones ionizantes, y los principios físicos y fisiológicos que los equipos médicos utilizan para generar imágenes diagnósticas.

Aunque está principalmente dirigido a médicos, ingenieros, estudiantes y técnicos, por su forma sencilla de presentarlo puede ser útil a cualquier persona interesada en el tema. Podría ser considerado como el primer contacto con las modernas técnicas de producción de imágenes.

Algunos párrafos relacionados con las técnicas densitométricas.

Los distintos métodos densitométricos se basan en la medida de la atenuación que sufren los rayos X, los rayos gamma o el ultrasonido al atravesar los tejidos. Los tejidos a atravesar son el óseo, la médula ósea y los tejidos blandos que los circundan, y los valores de la atenuación dependen de su espesor, densidad y composición. Sin embargo, la verdadera medida de la masa ósea debería excluir la médula ósea y los tejidos blandos que rodean el hueso, lo cual se logra mediante el empleo de la tomografía computarizada cuantitativa.

El calcio, un elemento abundante en los huesos, tiene la propiedad de absorber la radiación X o gamma en una proporción mayor que las proteínas y los tejidos blandos. De forma que la cantidad de energía radiante absorbida por el calcio en una sección, refleja el contenido mineral óseo en esa sección.

El método de diagnóstico más confiable consiste en la medición de la densidad mineral ósea (DMO) en columna lumbar y en la cadera. Estas zonas, por tener alta concentración de hueso trabecular el cual se afecta mucho antes que el hueso cortical, son más vulnerables.

Un densitómetro está formado por una fuente de radiación debidamente blindada y colimada situada debajo de la camilla de tratamiento, mientras que el sistema de detección de las radiaciones está en un brazo situado arriba de la camilla y «mira» hacia la fuente de radiación. El paciente, acostado en la camilla, queda entre la fuente y el detector.

Algunos párrafos relacionados con la tomografía computada (TAC)

La tomografía computada genera imágenes de órganos y tejidos permitiendo «ver» lo que antes sólo podía descubrirse por medio de la cirugía abierta o la autopsia. Ha demostrado particular utilidad en la detección de enfermedades hepáticas, pulmonares, vasculares, coronarias, tumorales y ciertas infecciones. Permite la detección de aneurismas que hasta podrían pasar desapercibidos durante las intervenciones quirúrgicas. La detección temprana del cáncer es una de sus mayores ventajas; el cáncer pancreático, por ejemplo, es de muy mal pronóstico si no es detectado a tiempo.

La imagen tomográfica ayuda al médico a precisar el diagnóstico y permite al cirujano tomar decisiones acertadas, con lo que se disminuye considerablemente el uso de otros costosos procedimientos. La TAC evita operaciones innecesarias hasta tal punto de que un 30% de las intervenciones de apendicitis podrían evitarse. Por tales razones, si esta técnica es empleada adecuadamente no representa costos adicionales sino ahorro.

Los tomógrafos, al igual que otros instrumentos que emplean rayos X, producen imágenes debido a la atenuación que experimenta el haz al recorrer estructuras internas del cuerpo. Los fundamentos teóricos fueron presentados en 1917 por el matemático checo Johann Radon, quien demostró que es posible construir la imagen de un objeto a partir de un conjunto de proyecciones. Radon asumió que la radiación que atraviesa el cuerpo lo hace en línea recta, y a lo largo de esa línea es absorbida y atenuada. La integral de la radiación atenuada es medida, y a partir de esa valoración obtuvo la fórmula para la reconstrucción....

Algunos párrafos relacionados con la radioterapia

La radioterapia es un tratamiento que utiliza las radiaciones ionizantes para destruir células cancerosas. Puede administrarse como tratamiento único o como complemento de la cirugía y/o la quimioterapia. La irradiación previa a la cirugía se utiliza para reducir el tamaño del tumor, lo que facilita la posterior intervención quirúrgica. La irradiación postquirúrgica tiene el objetivo de destruir las células que hayan podido quedar tras la extirpación y así prevenir la reaparición del tumor. La radioterapia también se utiliza para brindar alivio temporal de los síntomas. Para cierto tipo de cáncer, la radiación es el único tratamiento necesario.

Hace unos treinta años se sostenía que el tratamiento del cáncer era doloroso y sin sentido ya que esta enfermedad era incurable. Si bien esta afirmación pudo ser cierta, los avances médicos han hecho que los tratamientos actuales sean mucho más eficaces y causen menor sufrimiento. Hace algunas décadas el 90% de los niños con leucemia morían, ahora, el 80% sobrevive. Hoy en día muchas personas están completamente curadas, ya que existen medicamentos extremadamente eficaces.

El objetivo de la radioterapia es irradiar con dosis suficientemente altas el volumen tumoral y al mismo tiempo mantener a niveles aceptables las dosis en los tejidos sanos que lo circundan. Cualquier avance tecnológico que potencie este objetivo contribuye a superar la enfermedad. Los tejidos sanos inevitablemente se irradian, tanto alrededor del volumen tumoral como a lo largo de toda la trayectoria del haz de tratamiento.

La radioterapia se basa en el hecho de que las radiaciones afectan las células, especialmente cuando entran en el proceso de reproducción, concretamente en la metafase. Los tejidos neoplásicos están formados por células cuya tasa de división es muy superior a la de las células normales, en consecuencia son más susceptibles de ser afectados. Por esta razón, el daño producido por la radiación se manifiesta más rápidamente en los tejidos cancerosos, pues provocan su muerte radiobiológica o incapacidad de reproducirse. La radioterapia daña el ADN, y al hacerlo impide que las células crezcan y se dividan, por lo que el crecimiento del tumor se detiene o se vuelve más lento. En muchos casos la radiación logra eliminar todas las células cancerosas, de modo que el tumor se reduce y desaparece. La muerte de las células cancerosas no es instantánea, comienzan a morir a los días o semanas de ser expuestas a la radiación y siguen muriendo durante semanas o meses, en tanto que las células sanas casi siempre logran recuperarse.

Para información acerca de cómo adquirir los libros pueden dirigirse al Prof. Tucci: tcclvr@gmail.com