

Características de la elastografía para la exploración mamaria

Agustina Ayala¹, Nicolás Benech²,
Isabel Morales³, Andrea Mattiozzi³ and Franco Simini³

¹Estudiante del XXX Seminario de Ingeniería Biomédica 2021.

²Conferencista del Seminario del día 26 de Abril de título “Métodos elastográficos: fundamentos y aplicación”,
Instituto de Física de, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

³Docentes del XXX Seminario de Ingeniería Biomédica 2021.

Abstract- The monography presents some methods for breast cancer detection: mammography, thermography and elastography. Mammography is the most frequently used worldwide and is able to detect tumors with sizes between 4 and 5mm. 15% of mammograms are inconclusive. Thermography detect metabolic processes even before tumor formation but the FDA alerts that it is not an effective alternative to mammography. Elastography is a noninvasive medical imaging modality and it is able to detect nodes as small as 1mm by measuring the elastic properties of body tissues. Elasticity is obtained by measuring the wave propagation speed through tissues, when it is a low-frequency wave. This method is being used nowadays to monitor the evolution of tumors.

Keywords— Elastography, breast cancer detection, mammography, thermography.

Resumen- Se presentan la mamografía, la termografía y la elastografía como métodos de detección de estructuras tumorales en mamas. La primera es la más utilizada actualmente. Detecta estructuras de entre 4 y 5mm con entre 5% y 15% de resultados no concluyentes. La segunda detecta procesos metabólicos incluso antes de que se formen tumores, pero su capacidad de detección de estructuras pequeñas ha sido cuestionada por organismos como la FDA. La elastografía por su parte es no invasiva y detecta estructuras de la escala de 1mm, obteniendo valores de la elasticidad de los tejidos en un rango muy amplio de valores. Para obtener las medidas se mide la velocidad de transmisión de ondas de bajas frecuencia en los tejidos. Actualmente es utilizada principalmente para el seguimiento de tratamientos.

Palabras clave— Elastografía, detección e identificación de estructuras pequeñas en mamas, mamografía, termografía.

INTRODUCCIÓN

Se llama elastografía a aquellos métodos experimentales que permiten medir localmente y de forma no invasiva la elasticidad de sólidos blandos. [1]. En general se realiza a través de ondas de ultrasonido y se distingue de la ecografía en que la primera mide la dureza del material, mientras que la segunda su impedancia acústica. La importancia de la elastografía radica en su potencial aplicación en la Medicina, ya que se ha comprobado que algunas patologías malignas producen cambios en la elasticidad de los tejidos. Por ejemplo, los tumores de mama en general implican la presencia de zonas más duras, que en algunos casos son detectables con el tacto.

La presente monografía pretende ahondar en la teoría que explica el funcionamiento de la elastografía, centrándose en su aplicación para la exploración mamaria. Para evaluar su utilidad, se presentarán otros métodos que son utilizados para el mismo fin: la mamografía y la termografía; y luego se comparará su precisión, en particular su capacidad de detección de estructuras pequeñas.

La importancia de la exploración mamaria radica en que el cáncer de mama es la principal causa de muerte en mujeres a nivel mundial. Se ha demostrado que la detección precoz de este tipo de cáncer ha reducido la mortalidad en un 40% en los países de mayor poder adquisitivo ya que aumenta la efectividad de los tratamientos. [2] El método más utilizado para su detección en la actualidad es la mamografía.[2]

DESARROLLO

A. La mamografía.

La mamografía busca obtener imágenes de los tejidos internos de la mama mediante el uso de rayos X [3]. Para ello, utiliza una paleta que comprime la mama de modo que sea menos probable el solapamiento de estructuras. Se obtiene un menor espesor que a su vez es más homogéneo. Además, permite su inmovilización, lo que es importante porque pequeños movimientos de la mama pueden generar distorsión en la imagen. La obtención de la imagen se basa en la capacidad de absorción de los rayos X de los distintos tejidos que forman la mama. Sucede que la mama es un órgano con gran cantidad de glándulas y en algunos casos nódulos cuya presencia es normal, y su absorción de los rayos X es muy similar a la de las masas tumorales. Esto hace que en la mamografía se vean reflejados de formas parecidas, por lo que es difícil

distinguirlos. Ayuda a aumentar el contraste el hecho de usar radiaciones de más baja energía, pero esto hace que la interacción entre la mama y los fotones irradiados se de principalmente en forma de efecto fotoeléctrico y no de efecto Compton como sucedería con energías más altas. Esto hace que haya menos radiación dispersa y por ende más radiación absorbida por la mama, hecho que puede ser perjudicial para la salud. Es decir, la calidad de la imagen que se obtiene mediante mamografía estará limitada por los niveles permitidos de radiación que puede recibir el paciente. Esto hace que entre un 5% y un 15% de las mamografías no den resultados concluyentes [3]. Por otra parte, según Horvath, Galleguillos y Schonstedt [4], la capacidad de detección de la mamografía, en buenas condiciones se reduce a estructuras de 4 a 5mm, por lo que estructuras de menor tamaño no son detectadas. Es decir, el diagnóstico dado por la mamografía no es preciso.

B. La termografía.

La termografía es un estudio que permite medir y representar gráficamente cómo se distribuye el calor en la estructura analizada, mediante un mapa térmico. Se obtiene una imagen que representa con diferentes colores la temperatura de cada zona. Para ello se utiliza una cámara sensible al calor, que detecta en general radiación infrarroja de longitud de onda entre 900nm y 14000nm. Normalmente, una persona en buen estado de salud, irradia calor en forma de ondas de longitud de onda de un promedio de 10.000 nm.

Por medio de la termografía se pueden detectar procesos metabólicos anormales ya que implican que se requiera mayor cantidad de nutrientes y se genere dilatación en los vasos sanguíneos de la zona causando el aumento significativo de la temperatura en la región. Esto implica que sea posible identificar por este método procesos anormales incluso antes de que se genere un nódulo.

En lo que respecta a la imagen que se obtiene, según Perez y Conci[5], la sensibilidad de la técnica es de un 90% y su índice de falsos positivos es del 10%. Además, al ser un método que no utiliza imágenes anatómicas, no determina la ubicación exacta de lo que detecta. Esto hace que actualmente se promueva su uso en el tamizaje, pero en caso de detectar zonas sospechosas, se deba recurrir a otro método de detección de mayor precisión. [5]

Por otra parte, la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América) indica que no tiene evidencia científica que demuestre que la termografía sea eficaz por sí sola en la detección temprana del cáncer de mama, por lo que recomienda su uso como complementaria de la mamografía y no al revés. [6]

C. La elastografía.

Surge a partir de la búsqueda de métodos no invasivos que permitan obtener una imagen de los tejidos del cuerpo humano teniendo en cuenta su carácter de sólido blando.[1] Es sabido que un método muy utilizado para la detección del cáncer de mama es la palpación, ya que las tumoraciones se caracterizan por tener dureza mayor que el resto de los tejidos de la zona. En este sentido, la elastografía se presenta como un método de detección de la dureza de los materiales, con precisión mucho mayor que la palpación, ya que la dureza de tumoraciones es mayor que la de nódulos normales.[7] Los sólidos en general, se distinguen de otros tipos de materiales en el hecho de que permiten la propagación de ondas de sonido de corte (onda cuyo movimiento es perpendicular a la dirección de propagación de la onda), además de ondas como las de compresión (donde la onda oscila en la dirección de propagación). Los sólidos blandos en particular tienen la característica de que en ellos las ondas de compresión se propagan a mucha mayor velocidad que las ondas de corte. La velocidad de la onda de compresión está relacionada al módulo de compresión del material (λ) y la velocidad de corte con el módulo de corte (μ). En los sólidos blandos, el valor del módulo de corte varía muchísimo según cada caso, pero siempre se mantiene menor que el de compresión, se verifica:

$$(1) \quad \lambda \gg \mu.$$

Por otra parte, los sólidos isotrópicos (sus propiedades físicas no dependen de la orientación del sistema) se caracterizan por dos parámetros: el módulo de Young (Y) y el módulo de Poisson (ν). El primero mide la resistencia que tiene un material frente a una fuerza de compresión aplicada en él, es decir, qué tanto evita deformarse, por lo que es una medida de la elasticidad del material; mientras que el segundo mide qué tanto se deforma el material transversalmente al aplicarle la misma fuerza. Para sólidos blandos el módulo de Poisson es máximo, ya que al comprimirlo en una dirección, se estira en la dirección perpendicular, por lo que ν vale $\frac{1}{2}$.

Existen ecuaciones que relacionan los parámetros μ y λ con Y y ν , que surgen a partir de la relación entre el tensor de deformaciones y el desplazamiento del material. Una de ellas es la ecuación que sigue:

$$(2) \quad Y = \mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu}$$

De este modo, en sólidos blandos, por (1) y (2) se verifica que :

$$(3) \quad Y = 3\mu$$

La ecuación (3) implica que conociendo el módulo de corte sea posible calcular el módulo de Young, es decir, la dureza del material.

La elastografía entonces pretende medir el módulo de corte de una onda. Para ello, partiendo de la ecuación de propagación de onda en un sólido elástico isotrópico y considerando ondas de longitud de onda mucho mayor a la dimensión característica del tejido a analizar (lo que es coherente dado que la velocidad transversal de la onda en tejidos blandos es muy alta, entonces se obtendría longitudes de ondas muy altas si la onda tuviera frecuencias bajas) se obtiene que la ecuación de ondas se reduce. Entonces para ondas de frecuencia baja se obtiene la siguiente ecuación de onda:

$$\rho \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \mu \nabla^2 u \quad (4)$$

Donde ρ es la densidad y u el vector de desplazamiento de la onda.

La ecuación (4) implica que la velocidad de las ondas, es decir, de su campo, estará dada por el módulo de corte, es decir, tendrá la misma velocidad que las ondas de corte. Para ello, según los estudios de Benech [1], basta con que la frecuencia de las ondas sea menor a 15kHz. Es importante destacar, que el valor del módulo de corte varía ampliamente según el tipo de tejido al que se enfrente la onda, por lo que el contraste entre estos es muy grande. Por ejemplo, es del orden de 10^3 para glándulas mamarias normales, mientras que para músculos tensados es del orden de 10^5 , y para huesos del de 10^{10} [8].

Para monitorear las ondas de bajas frecuencias se utiliza ultrasonido. Una forma de medir la velocidad de las ondas de corte es a través del método de Interferometría de speckle acústica. Se basa en que cada sección de la señal obtenida por la reflexión de las ondas ultra sonoras es característica del tipo de tejido en el que rebota. Para tejidos duro como huesos, la señal tiene picos más altos, mientras que para tejido blando (venas, vasos sanguíneos) la onda es más suave (y se llama señal de speckle), pero igualmente es característica. Se genera movimiento sobre los tejidos que producen la señal speckle y a partir del desplazamiento de la señal se obtiene la velocidad de la onda que genera el movimiento.

El método se presentará brevemente a continuación.

Se coloca un Actuador de Baja frecuencia (100-200Hz), que emitirá ondas que cumplan la condición previamente presentada a través del tejido a analizar. Por otra parte, se coloca un transductor de ultrasonido de frecuencia central de 5MHz, que envía pulsos de ultrasonido y recibe los ecos. Entonces la onda ultra sonora va a captar los distintos tejidos, que están moviéndose de acuerdo a la vibración generada por la onda de baja frecuencia. De este modo la interferometría speckle permite seguir el movimiento de elementos de volumen del tejido. Esto permite construir imágenes que representan el movimiento de dicho elemento de volumen en función del tiempo a partir de las que es sencillo medir la velocidad del movimiento del volumen, que es la velocidad de las ondas de corte. Así, se puede obtener una imagen del movimiento de cada punto de la zona, medir localmente la velocidad de las ondas de corte en ellos y obtener una imagen elastográfica (un mapa con la dureza de cada punto).

Típicamente la elastografía se realizó como estudio en una dimensión debido al alto costo del dispositivo de ultrasonido, llamado Scanner Ultrafast (de mayor frecuencia que los utilizados para otros fines). Este método, en una dimensión ha sido utilizado, por ejemplo para detectar cambios de elasticidad de los tejidos cuando el tejido tiene variaciones de temperatura [1]. Actualmente también se hacen elastografías de dos dimensiones. Para ello se genera un frente de ondas plano que se propaga a la velocidad de las ondas de corte. Un ejemplo de ello son los métodos que se utilizan para mejorar el diagnóstico de algunas patologías, principalmente el cáncer de mama. Uno de los equipos utilizados es el Aixplorer (Real time elastography). Permite obtener medidas en tiempo real de la elasticidad de los tejidos mamarios.

En la Figura 1 se observa la capacidad de detección de la elastografía frente a la de la ecografía. Mientras que la ecografía mamaria detecta de igual modo a un tumor maligno y a uno benigno, la elastografía muestra la dureza de cada zona, siendo las zonas más duras (rojas) malignas, mientras que las más blandas (azules) benignas. De este modo se observa la utilidad de la elastografía en cuanto al perfeccionamiento del diagnóstico, siendo un método no invasivo, en contraposición a otros métodos utilizados para el mismo fin. Por ejemplo la biopsia, que sí es invasiva.

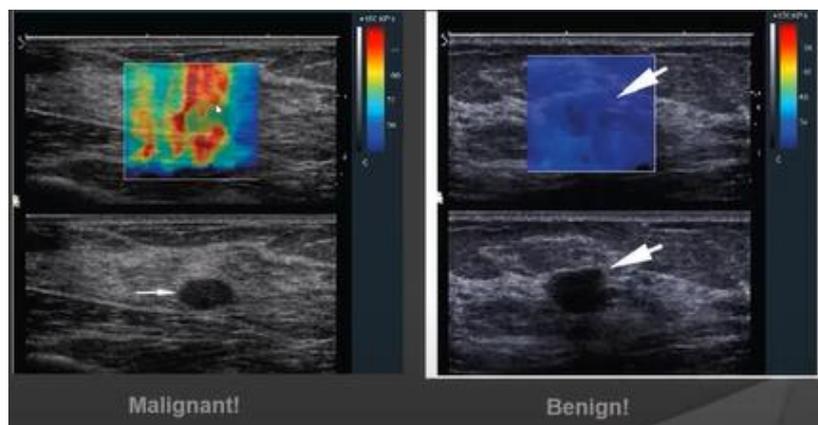


Figura 1. Abajo: imágenes ecográficas de mama. Arriba: mismas imágenes superpuestas con imágenes elastográficas de la mama. Fuente: Presentación de Benech. [8].

Para el análisis de las imágenes todavía no existe consenso en cuanto a un límite preciso del valor de la elasticidad que determine si el tumor es maligno o benigno, pero se está en desarrollo. Actualmente una de las escalas más utilizadas es el TES, que ha obtenido una exactitud diagnóstica del 88,3% [7]. Igualmente, los extremos en cuanto a elasticidad son determinantes. Por otra parte, el método elastográfico es muy utilizado para estudiar la evolución de tumores a lo largo de su tratamiento.

En cuanto a la precisión de la elastografía a partir del método de interferometría speckle acústico, según Benech, a partir de la configuración experimental de su laboratorio, si se utiliza un transductor ultrasonoro de 5 MHz con ancho de banda del 30%, el ancho temporal de la ventana suele ser de 2.4µs. El entorno (deformación del medio, valores de la señal de baja frecuencia utilizada) agregan una deformación del 3%. Sumando la influencia de la relación señal/ruido (SNR), Benech concluye que por este método se pueden medir desplazamientos con precisión muy inferior a la longitud de la onda ultrasonora, que es de 300 µm, con una incertidumbre en la estimación del orden de 2-10 µm. Todo esto determina que el método sea capaz de detectar la elasticidad de los tejidos, pudiendo detectar la dureza individual de estructuras en la escala de 1mm [1]. Igualmente debido a la gran subjetividad en cuanto a la interpretación de los resultados, que se debe principalmente a la insipiente de la tecnología, la elastografía no es utilizada aún para el diagnóstico, si no que se prefiere para la evaluación de la evolución de tumores ya detectados o para dar más información de un caso estudiado previamente con otros métodos [7].

D. Comparación de los métodos presentados.

En la Figura 2 se presenta una tabla en la que se comparan los métodos presentados anteriormente para los estudios mamarios en búsqueda de tumoraciones.

| <i>Método</i> | <i>Capacidad de detección</i> | <i>Resultados concluyentes</i> | <i>Situación actual</i> |
|---------------------|--|---|---|
| Mamografía | Detecta estructuras de 4 a 5mm. | Entre un 5% y un 15% de resultados no concluyentes. | Método más utilizado a nivel mundial. [2] |
| Termografía | Permite identificar procesos anormales incluso antes de que se genere un nódulo. | 10% de los resultados son falsos positivos. No determina la ubicación exacta de lo que detecta. | Nueva tecnología. No recomendada como método de descarte de tumoración por la FDA. [6] |
| Elastografía | Detecta estructuras en la escala de 1mm. | Depende del método de interpretación. Si se utiliza TES es concluyente en un 88,3% | Nueva tecnología. En estudio actualmente. Gobiernos europeos se interesan por ella. [7] |

Figura 2: Tabla comparativa entre elastografía, termografía y mamografía en cuanto a su capacidad de detección de estructuras pequeñas, si los resultados obtenidos son concluyentes y su situación actual a nivel global.

CONCLUSIONES

Se concluye que la elastografía es una técnica incipiente que por si sola tiene una gran capacidad de detección de estructuras pequeñas, llegando a detectar estructuras en la escala de 1mm, lo que la vuelve muy útil a la hora de realizarse en búsqueda de tumores mamarios. Esto se debe a que la elasticidad permite distinguir tumores de nódulos normales. Los métodos de interpretación de elastografía no están del todo desarrollados aún. Uno de ellos es el TES, que es concluyente en un 88%.

La mamografía y la termografía son otros métodos que se utilizan para la detección de tumores en mamas. La primera es la más utilizada a nivel mundial y tiene gran capacidad de detección, pero implica la radiación de las pacientes, lo que es perjudicial a largo plazo. La segunda se ha desarrollado en las últimas décadas y permite detectar procesos anormales antes de que se generen nódulos ya que estos generan cambios en la temperatura corporal. Igualmente, no es recomendada como método de detección de cáncer.

Frente a los métodos presentados la elastografía presenta una mayor capacidad de detección de estructuras pequeñas, se caracteriza por ser no invasiva y con potencial crecimiento que lleva a que gobiernos europeos realicen estudios al respecto.

Respecto a su uso en lo que refiere al estudio mamario, actualmente la elastografía se utiliza principalmente para seguir la evolución de pacientes ya diagnosticados, así como también para apoyar un diagnóstico previo.

REFERENCIAS

- [1] N. Benech, "Elastografía ultrasonora en sólidos blandos. Análisis del proceso de retorno temporal y aplicación al monitoreo de temperatura.," Universidad de la República, 2008.
- [2] OMS, "Cáncer de mama," 2021. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer> (accessed Jun. 07, 2021).
- [3] A. Clavero and E. Molina Ferreyra, "Calidad en estudios de Mamografía," Universidad de Córdoba, 2016.
- [4] E. Horvath, M. C. Galleguillos, and V. Schonstedt, "¿Existen cánceres no detectables en la mamografía?," *Rev. Chil. Radiol.*, vol. 13, no. 2, pp. 84–89, 2007.
- [5] M. G. Perez, A. Conci, A. Aguilar, Á. Sanchez, and V. H. Andaluz, "Detección temprana del cáncer de mama," *MASKANA*, pp. 1–13, Oct. 2014.
- [6] FDA, "Detección de cáncer de mama: el termograma no sustituye a la mamografía.," 2021. <https://www.fda.gov/consumers/articulos-en-espanol/deteccion-de-cancer-de-mama-el-termograma-no-sustituye-la-mamografia> (accessed Jun. 08, 2021).
- [7] C. Asensio del Barrio, *Efectividad diagnóstica y seguridad de distintas modalidades de elastografía en indicaciones oncológicas . Una revisión de revisiones sistemáticas y meta-análisis Diagnostic effectiveness and*. Madrid, 2018.
- [8] N. Benech, "ULTRASOUND," 2021.