

Metodologías de Medición de Volumetría Hepática

Methodologies For Measuring Hepatic Volumetry

Carlos Manterola^{1,2,3}; Catalina Sotelo⁴ & Josue Rivadeneira^{1,2,3}

MANTEROLA, C.; SOTELO, C. & RIVADENEIRA, J. Metodologías de medición de volumetría hepática. *Int. J. Morphol.*, 41(5):1452-1460, 2023.

RESUMEN: Lograr determinar el volumen total de un hígado (VHT), o volumetría hepática, pasa a ser de relevancia en diversas situaciones, tales como, vigilancia del progreso de una enfermedad de carácter crónico, planificación de resecciones y trasplantes hepáticos; y observación del clearance hepático de algunos fármacos hepatotóxicos. La VHT se puede realizar utilizando métodos de segmentación en el curso de una tomografía computarizada (TC), ya sean estos manual, automáticos, y semiautomáticos; mediante resonancia nuclear (RN), utilizando softwares de distintas generaciones (1ª a 4ª). La medición de VHT está indicada en pacientes sometidos a resecciones hepáticas mayores, en el contexto del tratamiento de neoplasias (carcinoma hepatocelular, colangiocarcinoma, metástasis hepáticas o tumores benignos de gran tamaño), abscesos (piogénicos, amebianos), y después de un traumatismo hepático complejo; así como también en la etapa preoperatoria de un trasplante hepático. El objetivo de este manuscrito fue generar un documento de estudio sobre métodos para determinar volumetría hepática.

PALABRAS CLAVE: Neoplasias Hepáticas; Hepatectomía; Imágenes hepáticas; Ultrasonografía; Tomografía Computarizada; Resonancia Magnética.

INTRODUCCIÓN

La realización de resecciones hepáticas requiere, además de un adecuado entrenamiento en las técnicas quirúrgicas, de conocimientos acabados de anatomía quirúrgica y radiológica; de forma tal de conocer entre otras, el volumen a extirpar y la proporción de parénquima hepático residual (Manterola *et al.*, 2017).

El volumen hepático total (VHT) es un parámetro importante para definir la gravedad de una enfermedad hepática. Las mediciones longitudinales de VHT desempeñan un rol fundamental en la valoración de progresión de enfermedad y en la respuesta a tratamientos. Por lo tanto, la medición precisa del VHT, es fundamental para determinar efectos terapéuticos sobre el hígado.

Existen calculadoras para estimar volumetría hepática (Fig. 1), algunos de ellos, de uso tanto para tomografía computarizada (TC), como para resonancia nuclear (RN), se encuentran disponibles en las direcciones <https://radcalculators.org/liver-volume-calculator-ct-mri> y <http://radclass.mudr.org/estimate-liver-volume-ct-or-mri-calculator>.

El estándar de referencia para medir VHT implica el contorno manual de los límites del hígado en cada corte, utilizando un software *ad-hoc*. De este modo, el VHT se calcula combinando el área contorneada y el espacio entre cortes (Gotra *et al.*, 2017). Este método requiere de un conocimiento anatómico experto y mucho tiempo, por ende, es costoso. Además, diferentes observadores pueden obtener diferentes resultados con una misma exploración; con excepción del análisis volumétrico funcional con modelos de hígado 3D reconstruidos por métodos asistidos por inteligencia artificial, que permiten la realización de hepatectomías virtuales (Takamoto *et al.*, 2022).

El objetivo de este manuscrito fue generar un documento de estudio sobre métodos para determinar volumetría hepática.

¹ Departamento de Cirugía y Centro de Estudios Morfológicos y Quirúrgicos (CEMyQ), Universidad de La Frontera, Chile.

² Programa de Doctorado en Ciencias Médicas, Universidad de La Frontera, Chile.

³ Núcleo Milenio de Sociomedicina, Santiago, Chile.

⁴ Universidad Católica del Maule, Chile.

Liver volume calculator (CT/MRI)

Liver volume calculator

Disclaimer: This information is for educational purposes only and is not a substitute for clinical judgment. Radcalculators.org makes no claims of the accuracy of the information contained herein.

Measurements

Maximum cranio-caudal dimension (cm)

Maximum latero-lateral dimension (cm)

Maximum antero-posterior dimension (cm)

Results

Estimated liver volume (cm³)

Fig. 1. Calculadora disponible para estimar VHT (<https://radcalculators.org/liver-volume-calculator-ct-mri>). Esta calculadora utiliza la siguiente fórmula:

Volumen = CC x LL x AP x 0,31. Que en este ejemplo da un volumen hepático estimado de 930 cm³. (Muggli *et al.*, 2009); donde: CC: Dimensión craneocaudal máxima (cm), que en este ejemplo es de 15 cm.

LL: Dimensión latero-lateral máxima (cm), que en este ejemplo es de 25 cm.

AP: Dimensión anteroposterior máxima (cm), que en este ejemplo es de 8 cm..

HISTORIA

Existen registros que sugieren que los primeros métodos para cuantificar el VHT se basaban en aproximaciones realizadas a través de radiografías o del escáner de isótopos; sin embargo, estos no eran lo suficientemente exactos. En la década de los 70s, con la aparición del ultrasonido (US), la estimación del VHT se hizo más certera, lo que permitió a Kardel desarrollar un escaneo ultrasonográfico del hígado en secciones paralelas entre sí, separadas por dos centímetros, agregando aproximaciones matemáticas del volumen para las porciones de hígado que quedaban detrás de la parrilla costal (Kardel *et al.*, 1971). Luego, en 1972 se publicaron los resultados del escaneo US comparados con los volúmenes obtenidos de hígados post mortem mediante el método de desplazamiento del agua (Rasmussen, 1972).

En 1983, luego de la masificación en el uso de la TC, se publicó un estudio en el que compararon resultados obtenidos con US, con aquellos de la TC, introduciendo así el

uso de esta herramienta que permite estimar el VHT de forma no invasiva, pero reduciendo el sesgo de medición de la US, que este tendía a sobreestimar volúmenes menores y subestimar volúmenes mayores (Fritschy *et al.*, 1983).

Con la consolidación del uso del US y la TC para la estimación del VHT, la investigación se redirigió a la búsqueda del mejoramiento de las herramientas existentes; y de este modo, Leung *et al.* (1985) compararon el VHT de sujetos sanos y con daño hepático por consumo de alcohol, llegando a la conclusión que el VHT era mayor en pacientes con hígado graso alcohólico respecto de los sujetos sanos, situación reversible con abstinencia del consumo.

Otro hito relevante ocurrió en la década de los 90s e inicios de los 2000, cuando la TC comienza a ser estudiada con mayor rigurosidad y a tomar mayor importancia en el proceso diagnóstico; siendo Evrard, quien realizó la validación de la medición del volumen hepático por TC tridimensional (Evrard *et al.*, 1992); y posteriormente Kayaalp *et al.* (2002), quienes introdujeron una forma de simplificar el proceso utilizando TC espiral en un estudio *in vitro*.

Ahora bien, al acercarnos a la actualidad vemos otros hitos que han ayudado a mejorar tanto la resolución como la seguridad al realizar la medición de VHT, entre estas la introducción de la RN, ya que permite el análisis del árbol biliar y vascular sin agregar radiación, por lo que sirve para el control seriado (Gota *et al.*, 2016) y la segmentación semiautomática mediante la TC, lo que reduciría el tiempo en obtener el VHT (Aapkes *et al.*, 2023).

DEFINICIONES

Lograr determinar el VHT pasa a ser de relevancia en diversas situaciones, tales como, vigilancia del progreso de una enfermedad de carácter crónico, planificación de resecciones y trasplantes hepáticos; y observación del clearance hepático de algunos fármacos hepatotropos (Fritschy *et al.*, 1983; Johnson *et al.*, 2005; Aapkes *et al.*, 2023).

Si bien, las primeras herramientas al alcance del clínico suele ser la anamnesis y el examen físico, en esta situación en particular solo se obtiene una aproximación a través de la palpación y percusión; por lo que es fundamental trabajar con un método de mayor exactitud. En la actualidad existen diversas opciones, entre las que destacan modelos lineales basados en edad, etnia, superficie corporal y género de los participantes; segmentación manual mediante TC, y segmentación automática por RN (Johnson *et al.*, 2005; Aapkes *et al.*, 2023).

Variaciones en el volumen hepático a lo largo de la vida.

Existe evidencia que reporta significativas diferencias en el VHT a lo largo de la vida. En los infantes representa el 4 % de su peso corporal, mientras que en adultos, la proporción baja entre 2 % y 2,7 % (Johnson *et al.*, 2005); razón por la que existen modelos diferenciales para población pediátrica, que se sugiere sean utilizados hasta los 16 años, ya que es a partir de esta edad cuando se observa que la razón VHT y peso corporal disminuye con el incremento de la edad (Urata *et al.*, 2000).

Medición de diámetros. Durante el examen radiológico, una práctica habitual es medir los diámetros cráneo caudal (CC), antero posterior (AP) y medial lateral (ML); lo que permite determinar rápidamente el progreso de una esteatosis hepática; sin embargo, no debería ser bajo ningún punto de vista considerada una estimación del VHT (Roloff *et al.*, 2016; Seppelt *et al.*, 2022).

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA HELICOIDAL (ESPIRAL)

En 2002, un grupo de investigadores lograron determinar la precisión de la TC helicoidal a la hora de medir el VHT. Compararon los volúmenes reales de hígados, obtenidos a través de desplazamiento de agua, con el escaneo in vitro realizado a través de TC helicoidal, en secciones de 7 mm (Kayaalp *et al.*, 2002).

Método manual. Para llegar al VHT se conocen diversos métodos de segmentación, los cuales pueden ser agrupados en automáticos, semiautomáticos y manual. El método manual, si bien suele ser el más confiable debido a su exactitud comprobada en diversos estudios (Leung *et al.*, 1985; Sepelt *et al.*, 2022), también es el que consume más tiempo dado que requiere imágenes de cortes paralelos entre sí, de un espesor de 1 a 2 centímetros, los que luego son ingresados a una fórmula matemática que permite estimar el VHT (Kardel *et al.*, 1971), lo que lo hace poco eficiente (Fig. 2).

Métodos semiautomáticos. Por esta razón, se han buscado métodos que logren diferenciar el parénquima hepático del resto de estructuras adyacentes tales como musculatura, grandes vasos y grasa intra abdominal mediante el uso de las unidades Hounsfield (UH), estos son los llamados métodos semiautomáticos, ya que luego del primer filtro realizado por los softwares, un profesional entrenado delimita las estructuras que sean muy similares en UH a las determinadas previamente para el hígado, o que simplemente hayan escapado de este primer gran barrido de la imagen. Esto ha permitido disminuir los tiempos de segmentación desde 50 a 18 minutos (Aapkes *et al.*, 2023).

En sus inicios, el método de segmentación semiautomática era realizado exclusivamente en imágenes obtenidas por TC, lo que dificulta el seguimiento seriado de pacientes con patologías como enfermedad poliquística,

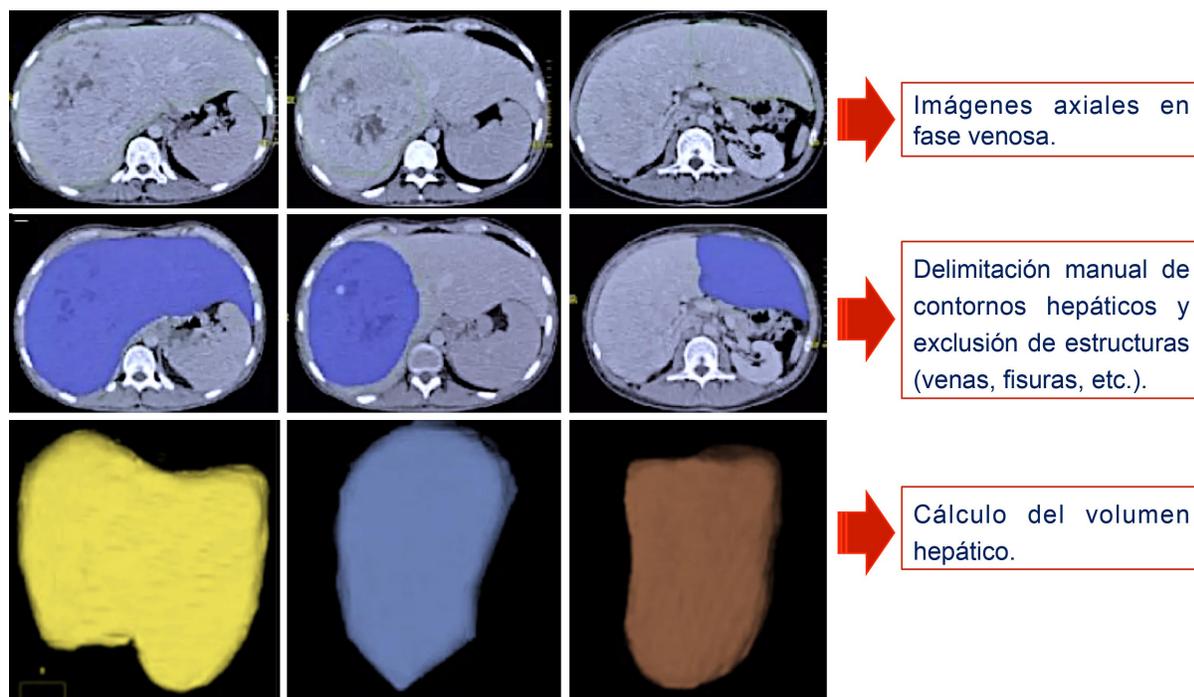


Fig. 2. Reconstrucción volumétrica utilizando método manual. La interpretación de las imágenes es: delimitación manual del contorno a calcular. Comprobación del tejido delimitado para la volumetría y reconstrucciones 3D. Volumetría por método de sumatoria devoxels, generando reconstrucciones 3D. Adaptado de Carrascosa *et al.*, *Acta Gastroenterol. Latinoam.*, 36(3):131-8, 2006.

quienes necesitan controles frecuentes de la progresión de su enfermedad. Actualmente se han desarrollado otros softwares compatibles con RN, la que permite el control seriado sin exponer al paciente a radiación ionizante (Gotra *et al.*, 2017).

Métodos automáticos. Con el objeto de disminuir los tiempos necesarios para realizar la segmentación del hígado, así como la necesidad de un operador con experiencia en imágenes, es que han desarrollado métodos automáticos con TC para llegar al VHT y agilizar tanto la evaluación preoperatoria como el seguimiento de ciertas patologías. Uno de los primeros, consiste en un proceso de tres pasos. En el primero se delimita la piel, pulmones, huesos, riñones, bazo e hígado; luego se extraen las lesiones y la vasculatura hepática; y finalmente se realiza la segmentación anatómica de la pieza (Soler *et al.*, 2001) (Fig. 3).

Además, existe softwares que permiten medir el VHT sumando los productos a partir tanto del grosor de los trozos como del área del hígado segmentado en cada una de las secciones, lo que permite reducir a menos de 5 minutos el tiempo necesario para obtener el VHT (Nakayama *et al.*, 2006) (Fig. 4).

PROTOCOLO DE VOLUMETRÍA HEPÁTICA POR TC

Paciente en decúbito supino con los brazos por encima de la cabeza. Se debe explorar desde las cúpulas del diafragma hasta la sínfisis púbica. La extensión de escaneo es desde la cúpula derecha del diafragma hasta el polo inferior de los riñones. La dirección de escaneo es caudocraneal. La inyección de contraste se debe hacer aplicando un monitoreo por corte según la región de interés, aorta descendente a nivel de la carina con umbral de 100 HU y volumen de 120-150 mL según peso del donante (1,5-2 mL/kg), de medio de contraste no iónico mediante bomba automática a un caudal de 4-5 mL/s; con un retraso de escaneo mínimo, y en fase de inspiración.

Fases dinámicas. Se deben registrar la fase arterial, mediante el seguimiento del bolo de contraste, entre 15 y 25 segundos después de la inyección; la fase portal, que comienza unos 40 segundos después de la inyección; y la 3ª y 4ª fase venosa, que comienzan después de un retraso de 10 segundos desde el final de la segunda fase y el final de todo el estudio.

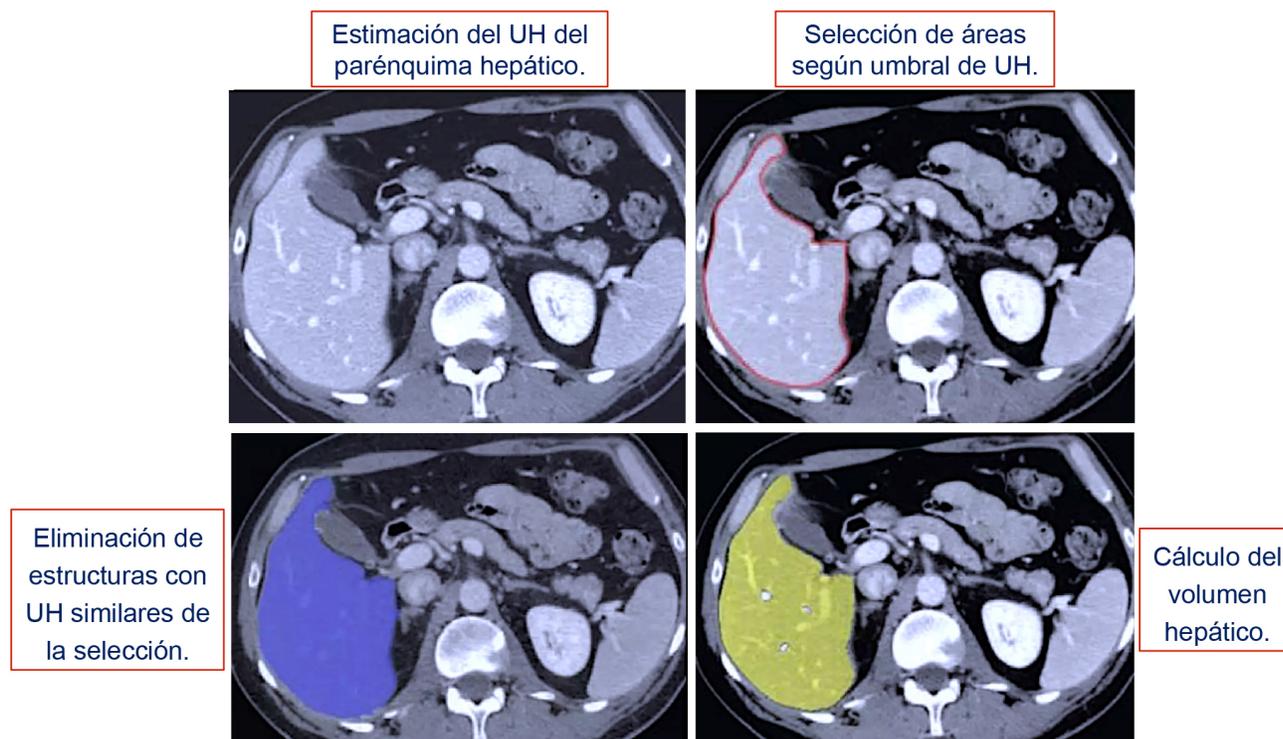


Fig. 3. Reconstrucción volumétrica utilizando método automático. La interpretación de las imágenes es: VHT, volumen a resear, volumen funcional y volumen residual. Adaptado de Nakayama *et al.*, *Radiology.*, 240(3):743-8, 2006.

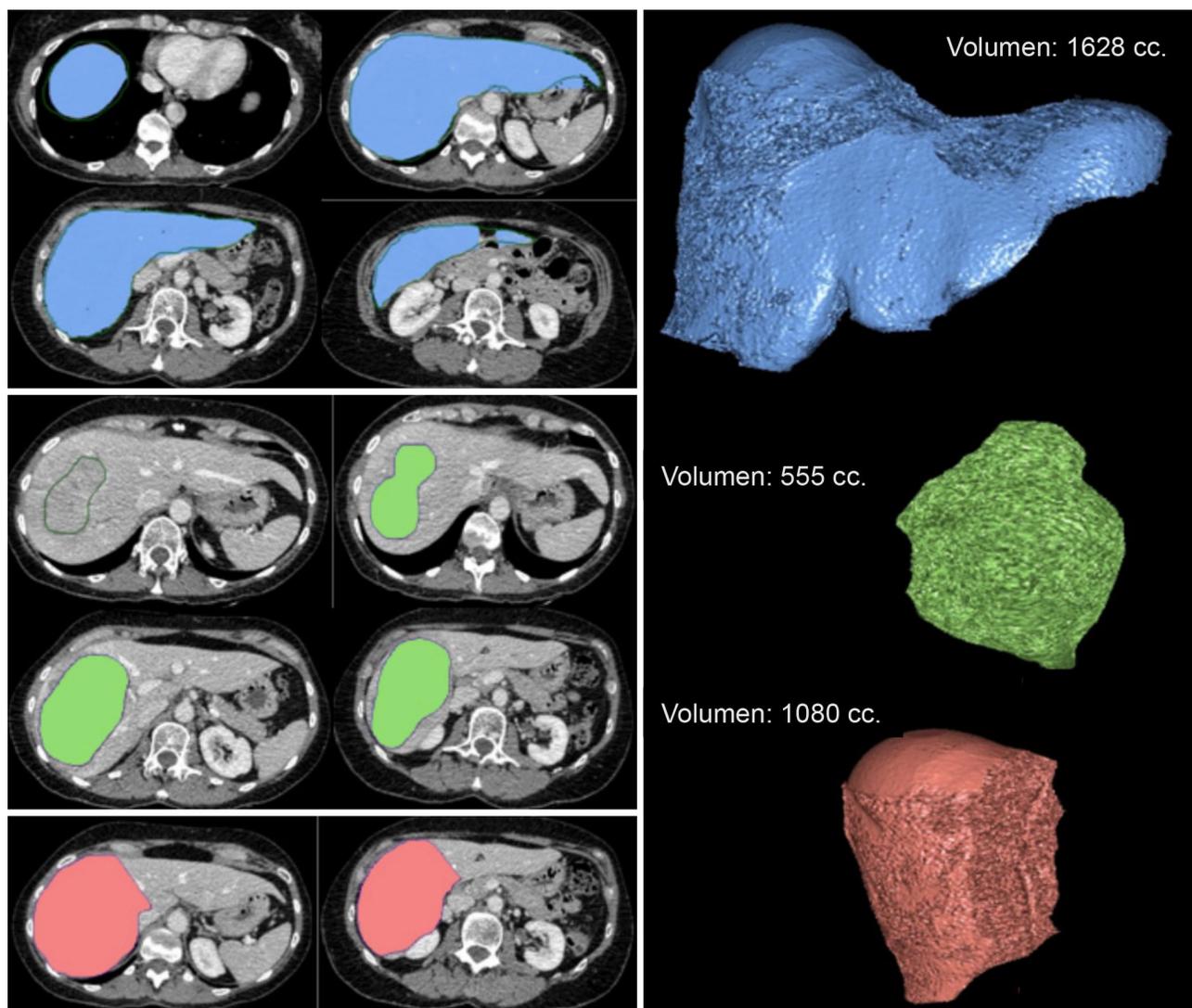


Fig. 4. Volumetría hepática preoperatoria. Se aprecia en celeste, el VHT; en verde, el volumen tumoral; y en rosa, el volumen del lóbulo hepático derecho. Se trata entonces de un hígado remanente suficiente. Adaptado de Jiménez-Román *et al.*, <https://epos.mysr.org/posterimage/esr/seram2014/124265/mediagallery/573940>.

Post-procesamiento. La fase venosa hepática se utiliza para la volumetría de TC, donde las venas hepáticas aparecen opacificadas, utilizando un grosor de corte de 6 u 8 mm. Se traza el límite del hígado para excluir las estructuras circundantes, así como vasos y fisuras hepáticas, para luego sumar el área del hígado en cada corte. Luego, se dibuja un plano de hepatectomía virtual en cada corte de imágenes axiales, a la derecha de la vena hepática media en hemi-hepatectomía derecha; y a lo largo del ligamento falciforme en segmentectomía lateral izquierda. Se realiza una sumatoria del volumen de todos los cortes, para obtener el volumen total y lobar del hígado (Murphy *et al.*, 2023).

RESONANCIA MAGNÉTICA

La RN se ha ido masificando progresivamente debido a las ventajas que posee por sobre la TC, tales como alta definición de la imagen, disminución de exposición del paciente a radiación y al riesgo de nefrotoxicidad asociado al uso de medios de contraste; la observación y evaluación de la anatomía vascular y biliar simultáneamente; y, además, la visualización de algunos biomarcadores de enfermedades hepáticas difusas como la fibrosis (Gotra *et al.*, 2017).

La RN también utiliza métodos de segmentación

para determinar VHT. Estos, se clasifican en generaciones según el software utilizado, siendo más rudimentarias las de las primeras tres generaciones, a diferencia del de 4ª generación que apunta a la automatización mediante la aplicación del “deep learning” o aprendizaje profundo (Withey & Koles, 2007; Cardenas *et al.*, 2019; Zambrano-Vizuete *et al.*, 2022), que ha sido validado mediante comparación con el método manual y semiautomático de la TC. Entre sus atributos destaca la precisión al medir el VHT, con una variación de 136 mililitros vs. los 226 mililitros al utilizar la segmentación semiautomática de la TC (Gotra *et al.*, 2017).

Primera generación: Incluye técnicas básicas, entre las que se encuentra la aplicación de límites para distinguir componentes, con base en la intensidad del contraste. El crecimiento regional, que contrasta con los píxeles de la imagen con criterios predefinidos de homogeneidad, de modo que si estos cumplen, se incluyen y la sección crece. Y, la delimitación de márgenes, que se realiza por un operador experimental.

Segunda generación: Se introdujeron por primera vez modelos de incertidumbre. El algoritmo utiliza métodos más complejos, que incluyen reconocimiento estadístico de patrones, modelos deformables, y métodos multi-resolución, con el fin de disminuir el ruido visual de las imágenes y, por consiguiente, el error. Aún requieren del apoyo de un operador una vez que la segmentación se completa.

Tercera generación: Se comienza a incorporar un nivel superior de conocimiento, como reglas definidas por expertos, segmentación basada en atlas y modelos de apariencia, para el refinamiento de la segmentación obtenida por RN (Withey & Koles 2007; Zambrano-Vizuete *et al.*, 2022).

Cuarta generación: Se introduce el concepto de aprendizaje profundo o deep learning, que permite abarcar bases de datos más amplias, de millones de imágenes; a partir de las cuales el software obtiene parámetros cualitativos y cuantitativos, como el VHT y la delimitación de los segmentos de Couinaud. Este tipo de programas ha permitido reducir el tiempo a 17 minutos por caso, en contraposición con el proceso realizado por un radiólogo con formación en imagenología hepática (Mojtahed *et al.*, 2022).

INDICACIONES DE VHT

La medición de VHT está indicada en pacientes sometidos a resecciones hepáticas mayores (extirpación de 4 o más segmentos), lo que habitualmente ocurre en el contexto del tratamiento de neoplasias (carcinoma hepatocelular, colangiocarcinoma, metástasis hepáticas o tumores benignos

de gran tamaño), abscesos (piogénicos, amebianos), y después de un traumatismo hepático complejo. En este tipo de escenarios, la determinación de VHT es relevante pues conocer el volumen del remanente hepático (cantidad de hígado que quedaría después de la resección), puede ser un indicador de función hepática postoperatoria y resultado clínico.

En pacientes con hígados normales, la relación remanente hepático/VHT debe ser >20 %; en sujetos con enfermedad hepática moderada (esteatosis secundaria a quimioterapia), debe ser >30 %; y en pacientes con cirrosis o fibrosis, debe ser >40 % (Gotra *et al.*, 2017).

Debido al aumento de las resecciones hepáticas en los últimos años debido a que son el único tratamiento con intención curativa en pacientes con focos neoplásicos hepáticos, es que estas se han inclinado hacia límites que obligan a buscar alternativas para evitar complicaciones como la falla hepática post hepatectomía. Entre ellas, surge un procedimiento llamado embolización de la vena porta, utilizado especialmente en pacientes con metástasis hepáticas. Consiste en la administración de material embólico de manera dirigida a venas portales intrahepáticas que presenten compromiso tumoral, redirigiendo el flujo sanguíneo y generando hipertrofia de hasta 40 % del volumen de los segmentos no comprometidos en respuesta (Charles *et al.*, 2023; Calderon Novoa *et al.*, 2023).

En pacientes seleccionados se ofrece un procedimiento llamado asociación de ligadura y partición de vena porta para hepatectomía por etapas (ALPPS) el cual consiste en privar al hígado tumoral de flujo portal y así estimular la hipertrofia del remanente hepático. En la primera etapa se liga y secciona la rama portal derecha, se realiza la resección de la vesícula biliar, luego se realiza la partición parcial o total del parénquima hepático y finalmente se procede al empaquetamiento del hígado tumoral en una bolsa de polietileno. La segunda etapa es programada 7 a 14 días más tarde, aquí se remueve el hígado tumoral empaquetado previamente. Esta cirugía está indicada en pacientes que requieran hepatectomías derechas debido a neoplasias, con un hígado remanente estimado menor a 25 % en pacientes sanos (Manterola & Otzen, 2017).

Otro grupo de pacientes en quienes es especialmente relevante la correcta medición del VHT es en aquellos que serán sometidos a trasplante hepático, tanto para los donantes como los receptores cuando el trasplante proviene de donante vivo, ya que de no ser realizada correctamente, puede derivar en insuficiencia hepática post hepatectomía y en el síndrome pequeño para el tamaño o “small for size” (Nakayama *et al.*, 2006; Miarka *et al.*, 2020).

DISCUSIÓN

La evaluación precisa del tamaño del hígado es una parte importante de la exploración física de muchos pacientes. La estimación del tamaño del hígado por percusión y palpación es inexacta y subestima una serie de anomalías menores. Por otra parte, la exploración del hígado por US es un método rápido, preciso y conveniente para medir el volumen hepático que no requiere irradiación ni la administración de medios de contraste ni radioisótopos. El volumen de tejido hepático sano es un dato importante que considerar en hepatología, particularmente durante la evaluación prequirúrgica de tumores hepáticos primarios o secundarios (Baddeley *et al.*, 1986; Brandt, 2018).

Desde el mito de Prometeo, se sabe que el hígado puede soportar sucesivas amputaciones y regenerarse. Incluso se ha sobrestimado esta capacidad, reportándose resecciones de hasta el 90 % del órgano; sin embargo, existe evidencia que soporta el hecho que las resecciones que superan las dos terceras partes del volumen hepático funcional se asocian con un riesgo significativo de morbimortalidad (Xu *et al.*, 2017; Bell *et al.*, 2022).

La tolerancia del hígado para soportar una resección resulta de la combinación de una reserva hepática funcional suficiente y un potencial adecuado de regeneración. La reserva hepática funcional es la capacidad de la masa hepática reducida para realizar funciones vitales en la fase postoperatoria inmediata. Una reserva hepática demasiado baja puede dar lugar a un cuadro clínico que va desde insuficiencia hepática aguda (encefalopatía, edema cerebral, ascitis, trastornos de la coagulación) que puede conducir a la muerte del paciente, hasta grados menores de insuficiencia hepática incluyendo hiperbilirrubinemia aislada o con producción de ascitis asociada durante algunos días, representando estos factores un factor de riesgo infeccioso. De tal modo que el potencial regenerativo reduce el riesgo de insuficiencia hepática posoperatoria inmediata a medida que aumenta la masa hepática. Factores que pueden impedir la regeneración hepática, algunos conocidos, como la cirrosis y probablemente la diabetes, y otros posiblemente transitorios, como la infección intercurrente o la desnutrición (Xu *et al.*, 2017; Khan *et al.*, 2018).

Por estas razones, es que suele analizarse la capacidad del hígado para soportar una resección combinando la medida del volumen hepático que quedará al final de la intervención, y la determinación de la calidad de este mismo parénquima (Rahnemai-Azar *et al.*, 2018). Ahora bien, en hígados cirróticos, cualquier resección que implique pérdida de masa hepática funcional está contraindicada en pa-

cientes Chile B y C. En pacientes Child A, la resección es posible con restricciones dependiendo de la magnitud de daño hepático. Es decir, es la hipertensión portal la que contraindica resecciones mayores, en especial cuando existe un gradiente porto-hepático superior a 10 mmHg (incremento de la mortalidad precoz (Ris *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2018)).

El conocimiento del volumen hepático remanente se basa en datos antropométricos más o menos concordantes y que muestran que en conjunto el hígado derecho constituye 2/3 del volumen total del hígado, que el volumen del lóbulo izquierdo es a menudo superponible a la del segmento IV, que el sector posterolateral derecho suele representar el 30 % del volumen total del hígado y que el segmento I suele ser inferior al 3 % (Gota *et al.*, 2016; Aapkes *et al.*, 2023).

La volumetría de TC manual, semiautomática o completamente automática es una ayuda importante en la toma de decisiones quirúrgicas y ayuda a la toma de decisiones por ejemplo respecto de indicar embolización portal preoperatoria para agrandar el hígado restante. En oncología, la medición del volumen del tumor, si pudiera automatizarse por completo, es más precisa y sensible que los métodos de medición uni o bidimensionales para la respuesta tumoral (Evrard *et al.*, 1992; Kayaalp *et al.*, 2002). Pero existe una gran variabilidad interindividual como la del lóbulo izquierdo, que puede variar del 5 al 26 % (Kawasaki *et al.*, 1994). Otra forma de calcular el volumen del hígado restante es relacionarlo con el peso corporal: en un adulto normal, el hígado total varía del 2 al 2,7 % del peso corporal. El volumen del hígado también puede estar relacionado con el área de superficie corporal. Hay muchas fórmulas que han estandarizado la volumetría hepática a los datos antropométricos de peso y altura (Vauthey *et al.*, 2010). Por último, existen variaciones según la edad o la raza. En general, se acepta que 1 ml de hígado pesa 1 g. En general, existe una muy buena correlación entre los volúmenes estimados por la tomografía computarizada preoperatoria y el peso del hígado resecado. Asimismo, existe una buena correlación entre el volumen estimado antes de la extracción y el peso de los injertos obtenidos por donante vivo (Kawasaki *et al.*, 1994).

También se han utilizado instrumentos de medición que acoplan la función, como la gammagrafía con Tecnecio-Albúmina o Galactosyl (Nio *et al.*, 2018; Yamamoto *et al.*, 2022), para la estratificación de riesgo de pacientes sometidos a hepatectomía, en especial en pacientes con patología biliar.

MANTEROLA, C.; SOTELO, C. & RIVADENEIRA, J. Methodologies for measuring hepatic volumetry. *Int. J. Morphol.*, 41(5):1452-1460, 2023.

SUMMARY: Being able to determine the total hepatic volume (THV), or THV, becomes relevant in various situations, such as monitoring the progress of a chronic disease, planning resections and liver transplants; and observation of the hepatic clearance of some hepatotropic drugs. THV can be performed using segmentation methods in the course of a computed tomography (CT), whether manual, automatic, or semi-automated; by nuclear resonance (NR), using software from different generations (1st to 4th). THV measurement is indicated in patients undergoing major liver resections, in the context of treatment of neoplasms (hepatocellular carcinoma, cholangiocarcinoma, liver metastases or large benign tumors), abscesses (pyogenic, amoebic), and after liver trauma complex, as well as in the preoperative stage of a liver transplant. The aim of this manuscript was to generate a study document regarding methods for determine hepatic volumetry.

KEY WORDS: "Liver Neoplasms"[Mesh]; "Hepatectomy"[Mesh]; "Diagnostic Techniques, Digestive System"[Mesh]; "Ultrasonography"[Mesh]; "Tomography, X-Ray Computed"[Mesh]; "Magnetic Resonance Imaging"[Mesh].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aapkes, S. E.; Barten, T. R. M.; Coudyzer, W.; Drenth, J. P. H.; Geijselaers, I. M. A.; Ter Grote, S. A. M.; Gansevoort, R. T.; Nevens, F. & van Gastel, M. D. A. Validation of a semi-automatic method to measure total liver volumes in polycystic liver disease on computed tomography - high speed and accuracy. *Eur. Radiol.*, 33(5):3222-31, 2023.
- Baddeley, H.; Benson, M.; Liefman, G.; Singcharoen, T.; Siskind, V.; Soon, K. & Williams, J. Measurement of liver volume using water delay ultrasonography. *Diagn. Imaging Clin. Med.*, 55(6):330-6, 1986.
- Bell, R.; Begum, S.; Prasad, R.; Taura, K. & Dasari, B. V. M. Volume and flow modulation strategies to mitigate post-hepatectomy liver failure. *Front. Oncol.*, 12:1021018, 2022.
- Brandt, A. H. Evaluation of new ultrasound techniques for clinical imaging in selected liver and vascular applications. *Dan. Med. J.*, 65(3):B5455, 2018.
- Calderon Novoa, F.; Ardiles, V.; de Santibañes, E.; Pekolj, J.; Goransky, J.; Mazza, O.; Sánchez Claria, R. & de Santibañes, M. Pushing the limits of surgical resection in colorectal liver metastasis: how far can we go? *Cancers (Basel)*, 15(7):2113, 2023.
- Cardenas, C. E.; Yang, J.; Anderson, B. M.; Court, L. E. & Brock, K. B. Advances in Auto-Segmentation. *Semin. Radiat. Oncol.*, 29(3):185-97, 2019.
- Charles, J.; Nezami, N.; Loya, M.; Shube, S.; Davis, C.; Hoots, G. & Shaikh, J. Portal vein embolization: rationale, techniques, and outcomes to maximize remnant liver hypertrophy with a focus on contemporary strategies. *Life (Basel)*, 13(2):279, 2023.
- Evrard, S.; Moyses, B.; Ghnassia, J. P.; Vix, M.; Mutter, D.; Methelin, G. & Marescaux, J. Validation of the measurement of hepatic volume by three-dimensional computed tomography. *Ann. Chir.*, 46(7):601-4, 1992.
- Fritschy, P.; Robotti, G.; Schneekloth, G. & Vock, P. Measurement of liver volume by ultrasound and computed tomography. *J. Clin. Ultrasound*, 11(6):299-303, 1983.
- Gotra, A.; Chartrand, G.; Vu, K. N.; Vandenbroucke-Menu, F.; Massicotte-Tisluck, K.; de Guise J. A. & Tang A. Comparison of MRI- and CT-based semiautomated liver segmentation: a validation study. *Abdom. Radiol. (NY)*, 42(2):478-89, 2017.
- Johnson, T. N.; Tucker, G. T.; Tanner, M. S. & Rostami-Hodjegan, A. Changes in liver volume from birth to adulthood: a meta-analysis. *Liver Transpl.*, 11(12):1481-93, 2005.
- Kardel, T.; Holm, H. H.; Rasmussen, S. N. & Mortensen T. Ultrasonic determination of liver and spleen volumes. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 27(2):123-8, 1971.
- Kawasaki, S.; Makuuchi, M.; Kakazu, T.; Miyagawa, S.; Takayama, T.; Kosuge, T.; Sugihara, K. & Moriya, Y. Resection for multiple metastatic liver tumors after portal embolization. *Surgery*, 115(6):674-7, 1994.
- Kayaalp, C.; Arda, K.; Oto, A. & Oran, M. Liver volume measurement by spiral CT: an in vitro study. *Clin. Imaging*, 26(2):122-4, 2002.
- Khan, A.S.; Garcia-Aroz, S.; Ansari, MA.; Atiq, SM.; Senter-Zapata, M.; Fowler, K.; Doyle, M. B. & Chapman, W. C Assessment and optimization of liver volume before major hepatic resection: Current guidelines and a narrative review. *Int. J. Surg.*, 52:74-81, 2018.
- Leung, N. W.; Farrant, P. & Peters, T. J. Liver volume measurement by ultrasonography in normal subjects and alcoholic patients. *J. Hepatol.*, 2(2):157-64, 1986.
- Manterola, C. & Otzen, T. Associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy (ALPPS). *Int. J. Morphol.*, 35(3):1083-90, 2017.
- Manterola, C.; del Sol, M.; Ottone, N. E. & Otzen T. Radiological and surgical anatomy of the liver and fundamentals of the various options liver resections. *Int. J. Morphol.*, 35(4):1525-39, 2017.
- Miarka, M.; Gibin´ski, K.; Kotulski, M.; Zaja ą, K.; Chmielewska, M.; Warden´ska, B.; Pachó, R. & Raszeja-Wyszomirska, J. Liver volume: a point of no return in liver transplantation? *Pol. Arch. Intern. Med.*, 130(7-8):622-8, 2020.
- Mojtahed, A.; Núñez, L.; Connell, J.; Fichera, A.; Nicholls, R.; Barone, A.; Marieiro, M.; Puddu, A.; Arya, Z.; Ferreira, C.; et al. Repeatability and reproducibility of deep-learning-based liver volume and Couinaud segment volume measurement tool. *Abdom. Radiol. (NY)*, 47(1):143-51, 2022.
- Muggli, D.; Müller, M. A.; Karlo, C.; Fornaro, J.; Marincek, B. & Frauenfelder, T. A simple method to approximate liver size on cross-sectional images using living liver models. *Clin. Radiol.*, 64(7):682-9, 2009.
- Murphy, A. *CT liver volumetry (protocol)*. Radiopaedia.org, 2023. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/ct-liver-volumetry-protocol-1?lang=us>
- Nakayama, Y.; Li, Q.; Katsuragawa, S.; Ikeda, R.; Hiai, Y.; Awai, K.; Kusunoki, S.; Yamashita, Y.; Okajima, H.; Inomata, Y.; et al. Automated hepatic volumetry for living related liver transplantation at multisection CT. *Radiology*, 240(3):743-8, 2006.
- Nio, M.; Wada, M.; Sasaki, H.; Tanaka, H.; Nakamura, M. & Kudo, H. Using 99mTc-DTPA galactosyl human serum albumin liver scintigraphy as a prognostic indicator in jaundice-free patients with biliary atresia. *J. Pediatr. Surg.*, 53(12):2412-5, 2018.
- Rahnamai-Azar, A. A.; Cloyd, J. M.; Weber, S. M.; Dillhoff, M.; Schmidt, C.; Winslow, E. R. & Pawlik, T. M. Update on liver failure following hepatic resection: Strategies for prediction and avoidance of post-operative liver insufficiency. *J. Clin. Trans. Hepatol.* 6(1):97, 2018.
- Rasmussen, S. N. Liver volume determination by ultrasonic scanning. *Br. J. Radiol.*, 45(536):579-85, 1972.
- Ris, F.; Majno, P.; Morel, P.; Terraz, S.; Andres, A. & Mentha, G. Complex liver resections: where are the limits? *Rev. Med. Suisse*, 4(163):1558-62, 2008.
- Seppelt, D.; Kromrey, M. L.; Ittermann, T.; Kolb, C.; Haubold, A.; Kampfrath, N.; Fedders, D.; Heiss, P.; Hoberück, S.; Hoffmann, R. T.; et al. Reliability and accuracy of straightforward measurements for liver volume determination in ultrasound and computed tomography compared to real volumetry. *Sci. Rep.*, 12(1):12465, 2022.
- Takamoto, T.; Ban, D.; Nara, S.; Mizui, T.; Nagashima, D.; Esaki, M. & Shimada, K. Automated three-dimensional liver reconstruction with artificial intelligence for virtual hepatectomy. *J. Gastrointest. Surg.*, 26(10):2119-27, 2022.
- Urata, K.; Hashikura, Y.; Ikegami, T.; Terada, M. & Kawasaki, S. Standard liver volume in adults. *Transplant. Proc.*, 32(7):2093-4, 2000.
- Vauthey, J. N.; Dixon, E.; Abdalla, E. K.; Helton, W. S.; Pawlik, T. M.; Taouli, B.; Brouquet, A.; Adams, R. B.; American Hepato-Pancreato-Biliary Association; Society of Surgical Oncology; et al. Pretreatment assessment of hepatocellular carcinoma: expert consensus statement. *HPB (Oxford)*, 12(5):289-299, 2010.

- Withey, D. J. & Koles, Z. K. Medical Image Segmentation: Methods and Software. Hangzhou, Joint Meeting of the 6th International Symposium on Noninvasive Functional Source Imaging of the Brain and Heart and the International Conference on Functional Biomedical Imaging, 2007. pp.140-3. DOI: <https://www.doi.org/10.1109/NFSI-ICFBI.2007.4387709>
- Xu, L. N.; Yang, B.; Li, G. P.; Gao, D. W. Assessment of complications after liver surgery: Two novel grading systems applied to patients undergoing hepatectomy. *J. Huazhong Univ. Sci. Technol. Med. Sci.*, 37(3):352-356, 2017.
- Yamamoto, Y.; Abukawa, Y.; Sato, K.; Watanabe, G.; Nakagawa, Y.; Hashimoto, M. & Iida, M. Usefulness of Liver Uptake Rate Constant in 99mTc-GSA Scintigraphy for the Risk Stratification of Patients Undergoing Hepatectomy: A New Method for Calculation. *Visc. Med.*, 38(6):400-7, 2022.
- Zambrano-Vizuete, M.; Botto-Tobar, M.; Huerta-Suárez, C.; Paredes-Parada, W.; Patiño Pérez, D.; Ahanger, T. A. & Gonzalez, N. Segmentation of Medical Image Using Novel Dilated Ghost Deep Learning Model. *Comput. Intell. Neurosci.*, 2022:6872045, 2022.

Dirección para correspondencia:

Dr. Carlos Manterola
CEMyQ, Universidad de La Frontera
Casilla 54-D
Temuco - CHILE

E- mail: carlos.manterola@ufrontera.cl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9213-2905>