

La autopsia virtual (virtopsia): La radiología en la Medicina Forense

Tte. Cor. M.C. Gaspar Alberto **Motta-Ramírez**,*

Gral. Div. M.C. Ret. Mario **Alva-Rodríguez**,** Cor. M.C. Ricardo Arturo **Herrera-Avilés*****

Hospital Militar Regional de Torreón, Coahuila.

RESUMEN

Recientemente se ha acuñado el término “virtopsia” para denominar el conjunto de procedimientos de API (conjunto de procedimientos de índole manipulativo o mensurativo que se aplican sobre una imagen digital con una finalidad científica) con finalidad forense, que pueden realizarse sobre imágenes digitales obtenidos mediante radiología, tomografía computada (TC), resonancia magnética (RM) y ultrasonido (US). Tales técnicas tienen aplicaciones forenses. La ventaja es que podemos estudiar el cuerpo humano o una región anatómica en tiempo real, sin abrir o mutilar el cuerpo y hacerlo, además, interactivamente. La virtopsia puede recaer sobre un cadáver o una persona viva, y permite, entre otras cosas, detectar detalles ocultos, conocer las propiedades de los tejidos, investigar las modalidades de lesión en modelos tridimensionales sin alterarlos, y un largo etcétera de aplicaciones forenses. La autopsia virtual es un procedimiento de análisis interdisciplinario que está revelando ser en muchos casos superior al clásico procedimiento de corte con bisturí en la Medicina Forense.

Palabras clave: Imagen forense, virtopsia, tomografía computada, resonancia magnética.

“Lo mas increíble de la tecnología es lo que tú puedes hacer con ella”

Introducción

Desde hace un tiempo, y fomentado en parte por el declinar del número de autopsias en medios hospitalarios,^{1,2} se ha preconizado el empleo de procedimientos alternativos a la autopsia tradicional que han dado en llamarse “opsias”. Ejemplos son las ecografías post-mortem (ecopsias), la endoscopia cadavérica (endopsia), y otros que utilizan, por ejemplo, técnicas radiológicas (radioscopsias).^{1,3,4}

Virtual autopsy (virtopsy): Radiology in Forensic Medicine

SUMMARY

The transdisciplinary research project Virtopsy is dedicated to implementing modern imaging techniques into forensic medicine and pathology in order to augment current examination techniques or even to offer alternative methods. The “digital autopsy”, even when post processing time was added, was more rapid than the classic forensic autopsy and, based on the nondestructive approach, offered certain advantages in comparison with the forensic autopsy.

Key words: Forensic imaging, virtopsy, computed tomography, magnetic resonance.

Recientemente se ha acuñado el término “virtopsia” para denominar el conjunto de procedimientos de API (conjunto de procedimientos de índole manipulativo o mensurativo que se aplican sobre una imagen digital con una finalidad científica) con finalidad forense, que pueden realizarse sobre imágenes digitales obtenidos mediante radiología, tomografía computada (TC), resonancia magnética (RM) y ultrasonido (US). Tales técnicas tienen aplicaciones forenses.⁵⁻⁸

La ventaja es que podemos estudiar el cuerpo humano o una región anatómica en tiempo real, sin abrir o mutilar el cuerpo y hacerlo, además, interactivamente. La virtopsia

*Médico radiólogo del Depto. de Radiología e Imagen del Hospital Militar Regional de Torreón, Coahuila. **Médico forense. *** Médico Gineco-obstetra, Director del Hospital Militar Regional de Torreón, Coahuila.

Correspondencia:

Dr. Gaspar Alberto Motta-Ramírez

Médico radiólogo del Depto. de Radiología e Imagen del Hospital Militar Regional de Torreón, Coahuila. Correo electrónico: gamottar@yahoo.com.mx

Recibido: Abril 10, 2013.

Aceptado: Mayo 3, 2013.

puede recaer sobre un cadáver o una persona viva, y permite, entre otras cosas, detectar detalles ocultos, conocer las propiedades de los tejidos, investigar las modalidades de lesión en modelos tridimensionales sin alterarlos, y un largo etcétera de aplicaciones forenses.³

La autopsia virtual es un procedimiento de análisis interdisciplinario que está revelando ser en muchos casos superior al clásico procedimiento de corte con bisturí en la medicina forense.

La mayoría de las ciencias forenses, como la genética forense y la toxicología forense, ya han aplicado tecnologías modernas que revolucionaron y siguen revolucionando estos campos. En contraste, la medicina forense sigue utilizando los métodos basados en evidencia que se introdujeron hace siglos.

Además del examen de las personas fallecidas, la medicina forense tiene como objetivo documentar, analizar y juzgar hallazgos médicos de las personas vivas. En este campo se utilizan los mismos métodos de documentación y descripción utilizados en los casos de autopsias clásicas.

Parece que el rápido desarrollo de la medicina moderna ha pasado cerca de la medicina forense sin influenciarla de manera relevante. Aun cuando algunos autores han mencionado la utilidad de la radiología en la medicina forense, por mucho tiempo las herramientas radiológicas no se integraron a la rutina de la medicina forense.

El realizar exámenes de todo el cuerpo con TC multidetector (TCMD, por sus siglas en español) y de RM pre-autopsia y la comparación de ambas técnicas de imagen transversal con los hallazgos de la autopsia convencional es parte del trabajo que se lleva a cabo dentro del proyecto Virtopsia en el Instituto de Medicina Forense de Berna, Suiza (<http://www.virtopsy.com>).⁹

La virtopsia o autopsia virtual es una herramienta dedicada a colaborar en las autopsias forenses. Fue desarrollada en el 2000 por Richard Dirnhofer, Director del Centro Médico Universitario de Berna, Suiza; con la hipótesis de que esta técnica de imágenes podría predecir hallazgos en autopsias brindando información adicional. Como señala el nombre de "Virtopsia", unión de los vocablos "virtual" y "autopsia", este proyecto está dirigido a desarrollar y validar nuevos abordajes que permitan una autopsia virtual de invasión mínima.⁹

Conjunto de técnicas

Más que una técnica en sí misma, la autopsia virtual consiste de un conjunto de técnicas de diagnóstico médica. Su base principal es la TCMD y la RM. La TC ofrece una imagen general del cuerpo y sus patologías, mientras que la RM puede proporcionar información más detallada acerca de regiones y órganos específicos.¹⁰

Es frecuente que al fallecimiento de una persona los deudos manifiesten su oposición a que se le practique la autopsia. Consideran a ésta innecesaria, agresiva, mutilante e irrespetuosa y no les convencen los argumentos de médicos y juristas, en los que se destacan la necesidad y utilida-

des de tal práctica. Tal es el caso que mostramos como ejemplo de la aplicación actual de la TC en la identificación de la causa de muerte en un recién nacido femenino que cursó con síndrome de dificultad respiratoria desde su nacimiento y que a pesar de maniobras falleció a las 4 horas. En las imágenes obtenidas, en la radiografía digital 1 (*Figura 1A*), se muestra sobredistensión pulmonar bilateral con opacidad difusa que impide identificar la vasculatura pulmonar, así como aire libre en el borde cardiaco derecho y del seno costodiafrágico izquierdo y neumotórax laminar apical izquierdo. En la radiografía digital 2 (*Figura 1B*), persiste la sobredistensión pulmonar bilateral con opacidad difusa que impide identificar la vasculatura pulmonar así como neumotórax bilateral, a tensión derecho. Ambos estudios radiográficos digitales (*Figura 1A y B*) son previos al deceso, con 2 horas de diferencia entre sí.

Las imágenes de TC axiales (*Figura 2A-D*) muestran aire en ambos hemitórax, con predominio del lado derecho, con parénquimas pulmonares que muestra una consolidación difusa con un patrón de aireación nulo. Se identifican cavidades diminutas hacia ambas bases pulmonares. Hay además gas intracardiaco, así como en el mediastino y en la región axilar derecha. Las imágenes de TC con reconstrucción multiplanar sagital y coronal postmortem (*Figuras 3A-E*) muestran aire en ambos hemitórax, con predominio del lado derecho, con el parénquima pulmonar que muestra una consolidación difusa con un patrón de aireación nulo. Se identifican cavidades diminutas hacia ambas bases pulmonares. Hay además gas intracardiaco, así como en el mediastino y cuello. Tales hallazgos pulmonares concluyen en

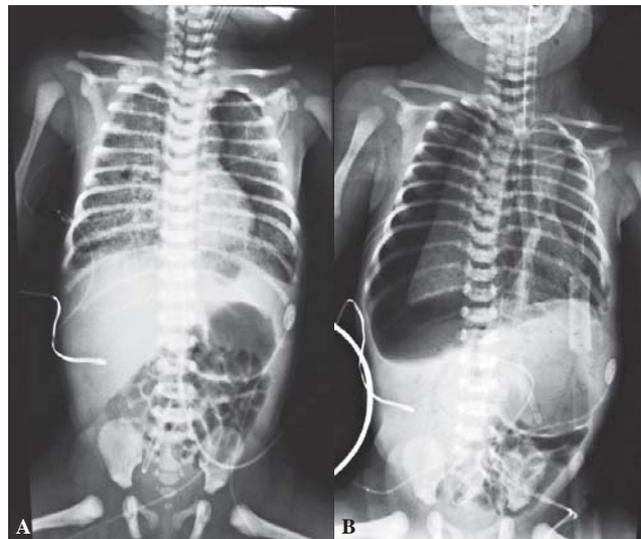


Figura 1. Radiografías digitales. (A) Se muestra sobredistensión pulmonar bilateral con opacidad difusa que impide identificar la vasculatura pulmonar, así como aire libre en el borde cardiaco derecho y del seno costodiafrágico izquierdo y neumotórax laminar apical izquierdo. (B) Persiste la sobredistensión pulmonar bilateral con opacidad difusa que impide identificar la vasculatura pulmonar, así como neumotórax bilateral, a tensión derecho. Ambos estudios radiográficos digitales (A y B) son previos al deceso, con 2 horas de diferencia entre sí.

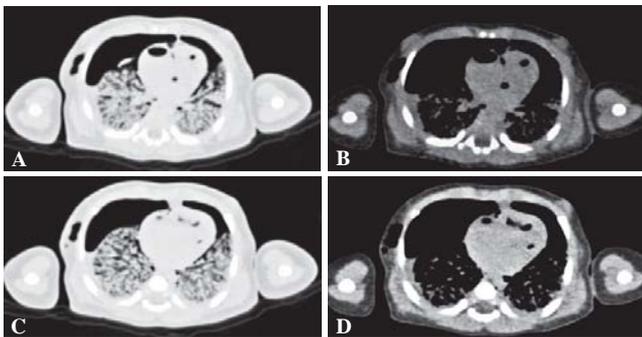


Figura 2. (A-D). Imágenes de TC axiales. Muestran aire en ambos hemitórax, con predominio del lado derecho, con parénquimas pulmonares que muestra una consolidación difusa con un patrón de aireación nulo. Se identifican cavidades diminutas hacia ambas bases pulmonares. Hay además gas intracardiaco, así como en el mediastino y en la región axilar derecha.

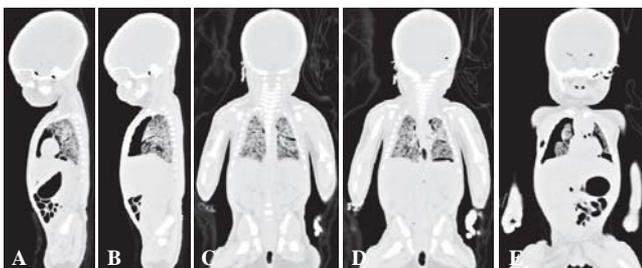


Figura 3. (A-E). Imágenes de TC con reconstrucción multiplanar sagital y coronal postmortem corroboran la presencia de aire en ambos hemitórax, con predominio del lado derecho, con el parénquima pulmonar que muestra una consolidación difusa con un patrón de aireación nulo. Se identifican cavidades diminutas hacia ambas bases pulmonares. Hay además gas intracardiaco así como en el mediastino e intracraneano.

la posibilidad que el padecimiento de base corresponda a malformación adenomatoidea quística bilateral, extensa con neumotórax bilateral secundario.

En los últimos tiempos, aunados a una magnífica tecnología que se ha concretado en aparatos de alta sensibilidad y penetración, han abierto la puerta a estudios postmortem que no requieren de incisiones, ni manipulaciones de las estructuras anatómicas del cuerpo humano. La Radiología nace como recurso médico al descubrir Wilhem Conrad Röntgen los rayos X, el 8 de noviembre de 1895. De inmediato se hicieron evidentes las numerosas e importantes aplicaciones que los rayos X brindaban a las investigaciones médicas, criminalísticas y policiales.

“No lo pensé, estaba investigando” fue la respuesta de Wilhelm Roentgen, cuando se le preguntó acerca de sus pensamientos al momento de su primeras observaciones sobre la fluorescencia. Tal respuesta representa una verdad absoluta en la investigación biomédica y no menos en el tema que nos ocupa sobre el uso y la aplicación de la Radiología e Imagen en la Medicina Forense.¹¹

Tan fue así, que apenas un año después de su descubrimiento fueron utilizados para localizar un proyectil de arma de fuego, que se encontró y se extrajo de la pierna de una

persona que había sido atacada por otra que negaba haber hecho el disparo. La placa radiológica sirvió para que se dictara la sentencia condenatoria. Al año siguiente, se emplearon los rayos X para detectar alteraciones fraudulentas en una pintura al óleo ya terminada.

A partir de entonces se fueron encontrando, con frecuencia creciente, aplicaciones a los estudios radiológicos, con resultados definitivos en la mayoría de los casos y así sigue sucediendo hasta nuestros días.

A la par con dicha utilización abundante, la tecnología radiológica se ha desarrollado impresionantemente, a lo largo del siglo XX y en lo que va del presente desde la mejoría de los primitivos aparatos de rayos X, hasta la invención de nueva tecnología conexas y la aparición en el mercado de aparatos y equipos cada vez más reveladores y rápidos, tanto para las tomas de estudios, como para la entrega de los resultados.

Dentro de estos avances destaca la TC, en su modalidad de multidetectores (TCMD) y la RM. La TC arranca de los trabajos experimentales de Allen M. Cormack en 1964 que condujeron a que, en 1972, Godfrey Hounsfield lograra la primera aplicación clínica, (ambos recibieron el Premio Nobel en 1979 por su aportación). A diferencia de los rayos convencionales, esta técnica proporciona una vista tridimensional de los órganos y tejidos. La imagen digital obtenida puede ser manipulada y registrada en diferentes formas.

La RM fue concretada por grupos de trabajo, encabezados por Félix Bloch y por Edward Purcell, en 1946. Por ellos merecieron el premio Nobel en 1952. Este procedimiento produce imágenes en múltiples planos, posee una gran capacidad de diferenciación de las estructuras y es particularmente revelador en los estudios del sistema central, de los huesos y de los músculos.

Al igual que sucedió con los rayos X, muy pronto se evidenciaron las potencialidades de estas técnicas y se les empezó a utilizar para resolver problemas médico-forenses y criminalísticos.

Se han hecho estudios radiológicos premortem que luego se han comparado con los hallazgos en la autopsia tradicional, lo que ha permitido confirmar o, en algunos casos descartar, los diagnósticos emitidos.

En casos relacionados con la balística se ha logrado precisar la ubicación, características y ángulo del recorrido de los proyectiles dentro del cuerpo.

Se ha logrado practicar el estudio radiológico del cuerpo entero en tiempos muy cortos (60 segundos), lo cual abre grandes expectativas en el manejo de víctimas múltiples en casos de desastres.

También se han obtenido informaciones valiosas con el uso de estas técnicas, respecto a las características de la dentadura en restos o cadáveres con avanzada putrefacción.¹²

Combinando los equipos de manera selectiva, se obtienen imágenes detalladas de los órganos y tejidos corporales, que permiten aseverar si guardan correspondencia con la normalidad o si muestran lesiones y cuál es su tipo, etiología, extensión y consecuencias.

Ha aparecido así, en el armamentario pericial, la autopsia virtual o virtopsia, que es el procedimiento que busca y valora alteraciones cadavéricas utilizando técnicas radiológicas modernas.

Realidad aumentada (RA)

La realidad aumentada tiene una gran importancia en el campo de la cirugía. Su aplicación permite al cirujano, por ejemplo, delimitar los bordes de un tumor, de forma que se pueden minimizar los efectos de la cirugía. Visualmente se puede guiar un procedimiento quirúrgico complejo mediante la superposición con la imagen real del paciente de imágenes 3D generadas por el ordenador que muestren mediante códigos de colores áreas a no dañar, puntos de incisión y tejido a eliminar. Con las técnicas de RA aplicadas en el campo quirúrgico se consigue obtener en el paciente un efecto de “piel/hueso transparente”, consiguiendo de esa manera que el cirujano obtenga una visión mejorada del campo operatorio. La neurocirugía es una de las áreas que más puede beneficiarse de dicha tecnología. Para minimizar daños colaterales a la vez que eliminar la totalidad del tejido enfermo se requiere de una precisión extrema. Además los daños de áreas motoras del cerebro deben ser eliminados al completo. La planificación de una intervención que satisfaga todas las restricciones es una tarea sumamente difícil y tediosa. La identificación de estructuras cerebrales y modificación de la planificación en el campo operatorio es una labor con frecuencia muy difícil de realizar en el campo operatorio, de ahí el énfasis en la planificación previa.¹³

Las técnicas radiológicas modernas que se utilizan son la TC¹⁴ y la RM. Específicamente en la TC al momento de la realización del estudio, dadas sus características, se condiciona una pérdida en la diferenciación de los planos tisulares con una baja discriminación tisular. Esta desventaja puede ser resuelta al utilizarse cierto número de detectores, modificaciones del kilovoltaje con el que se realiza el estudio o con la tecnología de punta como el DSCT con el uso de dos tubos de rayos X trabajando a diferentes kilovoltajes.¹⁵

Estos recursos de alta tecnología ofrecen un elevado grado de contraste y resolución, con lo que se obtienen imágenes tridimensionales.^{16,17}

La autopsia virtual tiene por objetivos:

1. Identificar lesiones.
2. Identificar el tipo de agente productor.
3. Determinar secuencias: de agentes nocivos y de resultantes, y
4. Establecer la causa de la muerte.

Hasta el momento se han planeado como indicaciones de la autopsia virtual las siguientes causas:

- Oposición familiar a la autopsia convencional.
- Justificada dispensa legal.

- Complemento de autopsia clínica limitada.
- Complemento de autopsia médico-legal.
- Cadáveres con avanzada putrefacción.
- Cadáveres con alto riesgo de contagio al personal que los maneja.

La experiencia acumulada al recurrir a la autopsia virtual ha demostrado su utilidad de manera general y dentro de ésta, aquellos tipos de lesiones y estructuras anatómicas en los que las imágenes obtenidas son más reveladoras, lo que podríamos llamar las fortalezas del procedimiento, así como lo contrario, imágenes menos ricas, lo que constituirá sus debilidades. Las fortalezas comprobadas reconocidas de la VIRTOPSIA, así como sus debilidades se señalan en el *cuadro 1*.

Principales herramientas de la virtopsia

En el proyecto virtopsia, la TCMD y su nueva modalidad la DSCT (de sus siglas en inglés, Dual Dource Computed Tomography),¹⁴ es la herramienta usada con mayor frecuencia.

La principal aplicación en este campo es el estudio de las lesiones y de las causas de muerte. La identificación de hematomas ocultos, el estudio del impacto, de trayectorias de lesiones (armas de fuego o armas blancas) pueden ser de suma utilidad en el esclarecimiento de un caso. Además, las mediciones morfométricas de las lesiones son exactas y permiten una exhaustiva documentación del caso, que puede ser sometido a reexamen tantas veces como queramos.³

La etiología y la causalidad lesional pueden ser estudiadas de una manera muy precisa. A título de ejemplo, una fractura craneal o espinal puede ser valorada de manera muy precisa en sus detalles morfológicos y puede generarse un modelo tridimensional real con lo que puede averiguarse el mecanismo de producción. También en lesiones de huesos largos resulta de extrema utilidad este modelado tridimensional.³

Identificación de las estructuras anatómicas

Antes de usar las imágenes médicas para visualización 3D y/o RA, es necesario identificar en ellas cada una de las estructuras anatómicas presentes. Esta operación se conoce con el nombre de segmentación de imagen médica y consiste en asignar a cada voxel (unidad cúbica que compone un objeto tridimensional) de la imagen una etiqueta que lo identifique como perteneciente a un tejido determinado. La complejidad de la imagen cerebral obliga a la adopción de técnicas semiautomáticas en las cuales es el propio clínico el que va guiando al sistema durante las operaciones de segmentación. Para esto se puede adoptar una técnica híbrida basada en el crecimiento de regiones y contornos activos guiados por reconocimiento de patrones en espacios de escala múltiples. Dicha técnica brinda resultados sumamente prometedores en imagen cerebral. Los modelos

Cuadro 1. Fortalezas y debilidades comprobadas de la virtopsia.^{16,17}

- A. En el sistema nervioso central:
- Hemorragias intracerebrales, ventriculares y subaracnoideas.
 - Hipertensión craneal.
 - Embolias gaseosas.
- B. En el aparato respiratorio:
- Neumotórax a tensión.
 - Broncoaspiraciones.
 - Embolia gaseosa.
 - Pulmón no aireado en muerte *in utero*.
 - Hemotórax.
- C. En el aparato cardiovascular:
- Hipertrofia del miocardio.
 - Embolia aérea en corazón y grandes vasos.
 - Signos de falla ventricular derecha.
 - Infarto del miocardio.
- D. En cavidad abdomino- pélvica:
- Hemoperitoneo.
 - Neumoperitoneo.
 - Líquido en estómago y duodeno en ahogados.
- E. En piel, tejidos subcutáneo y músculos:
- Hematomas, laceraciones y enfisema.
- F. En politraumatismos:
- Fracturas en regiones poco accesibles (columna vertebral, cara, pelvis).
 - Líneas de irradiación a partir del sitio de fractura.
 - Lesiones en regiones del cuello (ahorcados, estrangulados, etc.).
- G. En heridas por proyectil de arma de fuego:
- Orificios de entrada y salida.
 - Túnel por paso del proyectil.
 - Residuos de pólvora.
 - Descubrimiento de proyectiles íntegros o sus fragmentos.
- Son debilidades de la autopsia virtual:
- Hemorragias subaracnoideas escasas.
 - Lesiones de vísceras de abdomen y pelvis.
 - Hemorragias externas abundantes.

tridimensionales anatómicos se obtienen a partir de los contornos segmentados utilizando el algoritmo de “marching cubes”. Una vez obtenidos los modelos se integran en un sistema de planificación pre-operatoria.¹³

Registración de modelos y navegación 3D

Para navegar a través del modelo 3D se puede usar un digitalizador óptico (Flashpoint 5000, Image Guided Technologies, Boulder, CO), el cual consiste en tres cámaras alineadas capaces de captar las señales de pequeños leds infrarrojos adosados al material quirúrgico que se pretende seguir. La unidad de control del sistema es capaz de seguir hasta 8 leds simultáneamente a una frecuencia de 10

pulsos/s. Test realizados por expertos en este tema han confirmado la precisión del sistema en 0.5 mm a una distancia de 2 m de la unidad de captación. Para registrar el paciente (modelo real) con la reconstrucción 3D anatómica (modelo virtual) se captan puntos aleatorios del cráneo del paciente. Una vez captados dichos puntos (unos 100 puntos), se registra la nube de puntos con el modelo 3D del cráneo del paciente obtenida mediante segmentación de la imagen TC.

Para la registración se obtiene la solución de convergencia mediante minimización de una función de coste de distancias. Dicha función puede ser la del error medio cuadrático (EMC), minimizada mediante el algoritmo “Iterative Closest Point” o ICP. Debido a que el mayor problema del algoritmo ICP es el cálculo en cada iteración del punto más cercano, se pre-calcula un mapa de distancias mediante aproximaciones clásicas. Una vez ha convergido el algoritmo éste se perturba al objeto de garantizar la localización de un mínimo global. Dicho proceso de captación dura unos 5 minutos, siendo el tiempo de convergencia del algoritmo de registración de 1 minuto.

Una vez registrado el paciente es posible visualizar en pantalla la posición exacta del instrumental quirúrgico con respecto al paciente, pudiendo de esta manera guiar al neurocirujano durante la intervención. Al objeto de evitar recalibraciones del sistema ante movimientos de la cabeza del paciente, se coloca sobre el soporte Mayfield (soporte utilizado en cualquier intervención cerebral y que sirve para soportar la cabeza del paciente – dicho dispositivo se fija solidariamente a la cabeza del paciente), un sistema de referencia compuesto por tres filas de 4 leds. De esta forma se conocen perfectamente la posición de la cabeza del paciente y sus movimientos. Test realizados arrojan una precisión del sistema de 0.95 mm. Para el desarrollo del sistema de realidad aumentada se capta la imagen directa del microscopio quirúrgico (Leika M690), mediante dos cámaras CCD color estándar. Con la colocación de leds sobre el microscopio quirúrgico se consigue obtener las coordenadas del microscopio respecto al sistema de referencia fijo en la sala. Conociendo la relación del paciente respecto al microscopio y al modelo virtual, es posible fusionar la imagen real con la imagen virtual calculada desde el mismo punto de vista que el que está obteniendo el cirujano. De esta manera es posible “eliminar” virtualmente la piel del paciente y observar la posición de las estructuras anatómicas internas desde el punto de vista del clínico, lo cual resulta de vital importancia en intervenciones de Neurocirugía mínimamente invasivas. Test realizados muestran una precisión del sistema de 2 mm.¹³

La virtopsia incluye el uso de la fotogrametría que es una técnica que se utiliza para determinar las propiedades geométricas de los objetos y su situación espacial a partir de imágenes; cuenta, además, posterior a la obtención de imágenes por el scanner realizar exploración de superficie, reconstrucciones multiplanares, en 3D, con cambios colorimétricos de las estructuras a decisión de quien anali-

za el estudio. El post-procesamiento de las imágenes puede proporcionar una visualización útil para presentar como prueba judicial en la corte.² También tiene incorporado un brazo robótico que permite al operador, guiándose por las imágenes adquiridas del cadáver, obtener muestras post-mortem de órganos y tejidos. Las muestras de tejido se pueden utilizar para citología, histología química y análisis microbiológicos. El sistema es capaz de examinar las muestras con diámetros de 4 a 40 mm. Emplea un software informático que permite procesar y modificar las imágenes obtenidas, es decir, que las imágenes pueden ser giradas, realzadas, amplificadas, medidas y convertidas en un modelo tridimensional, el que a su vez también puede ser manipulado: ampliado, rotado, para observarlo desde diferentes ángulos o perspectivas.¹⁸

La TC,^{7,8,19-22} y la RM son excelentes para determinar la trayectoria de proyectiles. Si bien el metal de los proyectiles puede generar artefactos en las imágenes de TC, es posible determinar los orificios de entrada y salida; en función de las características de las fracturas de los huesos del cráneo, es posible visualizar en patrón biselado hacia adentro o hacia afuera del hueso, respectivamente.

El mayor inconveniente de la TC postmortem es la falta de reforzamiento del contraste iodado por vía intravenosa después de la paro circulatorio, lo que hace que el análisis del parénquima y la lesión vascular sea mucho más difícil, menos sensibles y menos específicos.

Por su parte, la RM es muy útil en la demostración de lesiones de tejidos blandos, neurológicas y no neurológicas. Para esto la RM tiene claramente mayor sensibilidad, mayor especificidad y mayor precisión que la TC.¹⁸

Detección y demostración de fracturas

En una analogía a la radiología clínica, el diagnóstico de una fractura puede realizarse con imágenes transversales. La forma y el patrón de una fractura son extremadamente importantes en la medicina forense, porque pueden dar indicios sobre el origen de la fractura. Desde el punto de vista de la reconstrucción tridimensional, puede ser muy útil saber qué lado ocurrió el impacto que ocasionó la fractura. También es posible reunir información adicional sobre el instrumento que ocasionó la lesión. Una gran ventaja de los modelos tridimensionales de fracturas es que ofrecen un buen panorama general de las lesiones esqueléticas y las muestran de una manera fácil de entender, incluso para los legos en medicina. Esto puede facilitar la colaboración entre los patólogos forenses y la policía y la justicia. Asimismo, las fracturas pequeñas que pueden pasarse por alto fácilmente en una autopsia, como las fracturas de las apófisis transversa o costal de la columna, pueden detectarse fácilmente viendo los datos de la TC.

Las lesiones en partes blandas, en el disco intervertebral y en los ligamentos representan hasta 89% de las lesiones postraumáticas de la columna cervical detectadas en imágenes postmortem. Las imágenes de RM para la identificación de este tipo de lesiones fueron con secuencias T1-

ponderadas non-fat-saturated, T2-ponderada spin-eco rápido y secuencias de eco de pulso ponderado.²³

Detección de cuerpos extraños

El metal puede detectarse y localizarse fácilmente dentro del cuerpo por su mayor absorción de los rayos-X en comparación con los huesos y los tejidos blandos. En la medicina forense este hecho es útil para una variedad de circunstancias. En casos de herida por arma de fuego, una TCMD puede mostrar fácilmente los proyectiles remanentes en el cuerpo. La localización exacta de las balas es útil para la reconstrucción de homicidios y suicidios.^{8,24}

Detección de aire

En la autopsia tradicional es bastante difícil encontrar un embolismo aéreo o un neumotórax. Para detectar este último hay que producir una "ventana pleural" empujando y haciendo a un lado los músculos intercostales del tórax íntegro después de haber quitado la piel y los músculos. Si por alguna razón los pulmones están al nivel de la rejilla torácica, es posible excluir un neumotórax.

El procedimiento para confirmar la presencia de un embolismo aéreo es aún más complicado. Con los datos de la TCMD postmortem, es posible detectar fácilmente el gas por que absorbe los rayos X. En consecuencia, es posible localizar fácilmente un neumotórax, y el embolismo aéreo puede detectarse e incluso cuantificarse usando tomografía computada multicorte post-mortem. La identificación de gas intrahepático es un hallazgo muy frecuente en causas traumáticas de muerte y esta asociada a embolismo aéreo sistémico.¹² Entre las causas de gas intrahepático están las enfermedades intestinales que se acompañan de necrosis que también pudiesen identificarse en el estudio de virtopsia.²⁵

Angiografía postmortem

Determinar si se registraron hemorragias internas que condicionaron la muerte. La utilización de una mezcla de medio de contraste yodado hidrosoluble con partículas de glicol polietileno ha permitido obtener imágenes de una calidad superior al compararse con aquellas que se obtenían con medio de contraste oleoso y parafina en el estudio angiográfico postmortem.²⁶

El patrón arterial coronario ha sido demostrado en las necropsias por arteriografía con material radiopaco en pacientes con o sin enfermedad cardiaca. Se ha demostrado una proliferación de canales pequeños anastomóticos en pacientes con placas e ateroma e hipertrofia ventricular. Se ha sugerido que esta proliferación y redistribución del flujo coronaria altera el gradiente de repolarización y causa anomalías en el segmento S-T y en las ondas T, anomalías que son detectables electrocardiográficamente en pacientes con placas de ateroma e hipertrofia ventricular.²⁶

Las investigaciones postmortem que incluyen la aplicación de la TC y de la RM en angiografías postmortem se han incrementado y ello es debido a que se han identificado cuatro áreas en las que este tipo de investigación ha sido

útil: a la evaluación rápida del patrón de flujo de órganos incluyendo variantes anatómicas, alteraciones vasculares en condiciones fisiológicas o patológicas, e identificación de cambios tisulares inducidos por causas naturales o artificiales y el uso de nuevos agentes de contraste.²⁷

La determinación de hemorragia fatal como causa de muerte representa un diagnóstico difícil en la medicina forense. En búsqueda de la diferenciación cuantitativa de la hemorragia fatal como causa de muerte de otras, se ha propuesto la aplicación de un algoritmo de tres pasos con medidas del diámetro de la arteria pulmonar derecha, el área de la arteria pulmonar principal y el volumen de la aurícula derecha con una especificidad, de 100% y con sensibilidad de 95%. Sin embargo, este algoritmo deberá ser corroborado en estudios prospectivos. La aplicación de este algoritmo representa un método confiable para reconocer a la hemorragia fatal como causa de muerte en la medicina forense.²⁸

Imagen por resonancia magnética^{29,30}

La imagen por resonancia magnética de las personas fallecidas se hace con un sistema de 1.5 teslas. Para ello, los cuerpos se envuelven en dos bolsas para cuerpos libres de artefactos antes del escaneo. Se escanean la cabeza, el tórax y abdomen, y, dependiendo del caso, otras regiones (por ejemplo, las extremidades en caso de estar lesionadas). Se adquieren imágenes coronales, sagitales y axiales con diferentes ponderaciones de contraste (secuencias de eco del espín potenciadas en T1 y secuencias rápidas de inversión recuperación y secuencias de gradiente-eco).

Una de las ventajas tanto de la TC como de la RM es su capacidad de almacenaje con respecto a las imágenes obtenidas y que es factible revisar cuantas veces sea necesario. Esa facilidad las coloca por arriba de la autopsia tradicional. Los hallazgos de la autopsia tradicional no pueden ser almacenados y a menos que el diagnóstico sea definitivamente histológico, la causa de la muerte obtenida de esa manera ya no permite más revisiones una vez que se ha dispuesto del cuerpo.

La RM postmortem puede identificar anomalías relacionadas con causas comunes de muerte súbita en adultos. Sin embargo, aún debe generarse experiencia en la aplicación del método para la toma de decisiones y de la identificación de la causa de muerte: la incapacidad para la identificación de lesiones arteriales, la diferenciación entre trombos y coágulos, entre edema pulmonar y el exudado neumónico representan problemas específicos que deberán corregirse con la experiencia y con equipos de mejor y mayor resolución.³¹

Fotogrametría digital y barrido tridimensional de superficies

Además de las técnicas de imagen radiológicas para la documentación de los hallazgos internos en el proyecto virtopsia, la fotogrametría digital y el barrido tridimensional

de superficies de alta precisión se utilizan para la documentación de los hallazgos externos y los instrumentos con los que se infligieron las lesiones.

Ante la factibilidad de efectuar una autopsia virtual, los pasos recomendables son:

1. TC de todo el cuerpo, lo que toma un tiempo no mayor de 10 minutos. La TC es muy superior, por ejemplo, cuando se trata de analizar complicadas fracturas, sobre todo en el rostro y la pelvis. El aire en las arterias, que puede llevar a la muerte, se puede ver claramente en tomas radiográficas, mientras que en la autopsia clásica a menudo se pasa por alto.
2. RM de las áreas corporales de interés, conforme a los antecedentes, esto lleva un tiempo aproximado de una hora.
3. La información digitalizada se procesa para obtener reconstrucciones anatomoclínicas y forenses. El tiempo que esto requiere depende de la complejidad del caso y de la experiencia del personal técnico-profesional que interviene; pero se puede considerar que está alrededor de un par de horas a lo máximo.
4. La identificación de hematomas ocultos, el estudio del impacto y de la trayectoria de impactos de armas de fuego o armas blancas pueden ser de suma utilidad en el esclarecimiento de un caso. Además, las mediciones morfométricas de las lesiones son exactas y permiten una exhaustiva documentación del caso, que puede ser sometido a reexamen tantas veces como queramos.

Autopsia interactiva

Las autopsias virtuales digitales crean registros permanentes en 3D del cuerpo. La virtopsia como herramienta diagnóstica mínimamente invasiva continúa desarrollándose con una interesante proyección multidisciplinaria que involucra a las ciencias forenses, al diagnóstico por imágenes, la biomecánica y las ciencias informáticas. Tal es así que también se están empleando técnicas de microtomografía en el interior de hueso trabecular y cortical, y de microscopía por RM en los tejidos blandos y en hemorragia retinal; y esto podría tener, según se espera, un impacto comparable a la histopatología forense, lo que llevaría también a la histología virtual.^{10,18}

Otra de las posibilidades que brinda esta técnica es en cuanto a la gestión de datos y la teleconsulta. El proyecto virtopsia genera gran cantidad de información digital que fácilmente se puede archivar, copiar, analizar cuantitativamente y con posprocesamiento en una estación de trabajo. Y transmitir en una red, a cualquier parte de mundo, pudiendo realizar teleconsultas con especialista.^{10,18}

Tendencias de la radiología forense

Desde el inicio del proyecto “virtopsia” en el 2000 se ha adquirido una amplia experiencia con la introducción de la Radiología a la Medicina Forense, lo que mues-

tra el potencial y también las limitaciones del proyecto. Un aspecto vital de este proyecto es la estrecha colaboración entre los patólogos forenses y los radiólogos. La autopsia mínimamente invasiva (MIA por sus siglas en inglés) es un procedimiento con un elevado rango de detección para ciertas causas de muerte como la neumonía y/o la sepsis; sin embargo, ha demostrado ser imprecisa en causas cardíacas, tales como el infarto agudo de miocardio y en la endocarditis como causas de muerte.³²

Conclusiones

En los últimos años las técnicas modernas de imagen transversal han abierto camino en la medicina forense. La imagen por RM y, especialmente la TC multicorte, se están aplicando cada vez más en los exámenes postmortem. Estas técnicas no invasivas pueden aumentar e incluso reemplazar parcialmente una autopsia tradicional. Además de las técnicas de imagen radiológicas, los métodos de los barridos tridimensionales de las superficies y la fotogrametría se usan para la documentación de los hallazgos externos del cuerpo. Con el fin de alcanzar la meta de la autopsia de invasión mínima, se han desarrollado otras herramientas como la biopsia postmortem y la angiografía postmortem. A manera de analogía del uso clínico de la biopsia y la angiografía, estas técnicas permitirán tomar muestras titulares postmortem para análisis adicionales, así como realizar el examen postmortem del sistema vascular. Con el uso de estos métodos, se pueden documentar los casos forenses en forma mínimamente invasiva, objetiva e independiente del investigador, para mejorar la calidad de las investigaciones patológicas forenses.

La autopsia virtual es un método objetivo, reproducible, no invasivo, que toma un tiempo corto para su ejecución y que permite identificar lesiones y establecer la causa de la muerte. La autopsia virtual es un procedimiento de análisis interdisciplinario que está revelando ser en muchos casos superior al clásico procedimiento de corte con bisturí en la medicina forense. Se puede utilizar por sí sola o como complemento de la autopsia tradicional. Por el todavía reservado costo de los equipos, su aplicación estaría reservada, por el momento, a los casos en que por razones especiales: legales, científicas, sociales, económicas, sea la mejor opción. Es predecible que el siglo XXI verá un notable incremento en el uso de esta magnífica herramienta.^{32,33}

Tal vez esta publicación sobre imagen forense, sobre el uso de la Radiología e imágenes seccionales en la Medicina Forense pudiese sonar inapropiada. Sin embargo, abre el debate sobre el papel que hoy por hoy tienen los médicos y técnicos radiólogos en la práctica médica actual ante el uso de las imágenes diagnósticas médicas a 117 años del descubrimiento de los rayos X.

Referencias

1. Lundberg GD. Low-tech autopsies in the era of high-tech medicine. *JAMA* 1998; 14: 1273-4.
2. Shojania KG, Elizabeth C, Burton EC. The vanishing nonforensic autopsy. *NEJM* 2008; 358(9): 873-5.
3. Aso J, Martínez-Quiñones JV, Aso-Vizán J, Pons J, Arregui R, Baena S. Virtopsia. Aplicaciones de un nuevo método de inspección corporal no invasiva en ciencias forenses. *Cuad Med Forense* 2005; 11(40): 95-106.
4. Horsley P. Teaching the Anatomy of Death: A Dying Art? *Medicine Studies* 2010; 2: 1-19.
5. Levy AD. Forensic imaging bolstered by new technologies, techniques. *RSNA News* 2008; 18: 6-7.
6. Bolliger SA, Thali MJ, Ross S, Buck U, Naether S, Vock P. Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. *Eur Radiol* 2008; 18(2): 273-82.
7. Thali MJ, Schweitzer W, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Spielvogel E, Dirnhofer R. New horizons in forensic radiology. The 60-second digital autopsy-full-body examination of a gunshot victim by multislice computed tomography. *Am J Forensic Med Pathol* 2003; 24(1): 22-7.
8. Levy AD, Abbott RM, Mallak CT, Getz JM, Harcke HT, Champion HR, Pearse LA. Virtual Autopsy: Preliminary experience in high-velocity gunshot wound victims. *Radiology* 2006; 240: 522-8.
9. Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P, Potter K, Thali MJ. Virtopsy: Minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics* 2006; 26: 1305-33.
10. http://www.swissinfo.ch/spa/ciencia_tecnologia/La_autopsia_del_futuro_en_imagen_digital.html?cid=8036590
11. Gibb IE. Computed tomography of projectile injuries. *Commentary. Clinical Radiology* 2008; 63: 1167-8.
12. Azrak B, Victor A, Willershausen B, Pistorius A, Horr C, Gleissne C. Usefulness of combining clinical and radiological dental findings for a more accurate noninvasive age estimation. *J Forensic Sci* 2007; 52(1): 146-50.
13. http://sabria.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Imagenyvideo/Graficos_en_la_medicina/AplicacionesRA.html
14. Persson A, Jackowski C, Engstroma E, Zachrisson H. Advances of dual source, dual-energy imaging in postmortem CT. *EJR* 2008; 68: 446-55.
15. Grabhen S, Stephan BA, Buck U, Nather S, Christe A, Osterhelweg L, et al. Virtopsy. *Radiology in forensic medicine. Imaging Decisions* 2007; 11(1): 2-9.
16. Alva-Rodríguez M. La autopsia virtual. *Criminalia* 2006; 1: 117-123.
17. Becker GJ. Virtues of virtual autopsy. *American College of Radiology* 2005; 2(4): 376-8.
18. <http://alejandrak2.fullblog.com.ar/virtopsy.html>
19. Jefferya AJ, Ruttya GN, Robinson C, Morgan B. Computed tomography of projectile injuries. *Clin Radiol* 2008; 63: 1160-6.
20. Rutty GN, Boyce P, Robinson CE, Jeffery AJ, Morgan B. The role of computed tomography in terminal ballistic analysis. *Int J Legal Med* 2008; 122: 1-5.
21. Harcke HT, Levy AD, Getz JM, Robinson SR. MDCT analysis of projectile injury in forensic investigation. *AJR* 2008; 190: W106-W111.
22. Stabler A, Eck J, Penning R, Milz SP, Bartl R, Resnick D. Cervical spine: Postmortem assessment of accident injuries-comparison of radiographic, MRI, anatomic, and pathologic findings. *Radiology* 2001; 221: 340-346.
23. Folio LR, Fischer TV, Shogan PJ, Frew MI, Kang PS, Bunker R, Provenzale JM. CT-based ballistic wound path identification and trajectory analysis in anatomic ballistic phantoms. *Radiology* 2011; 258: 923-9.
24. Jackowski C, Sonnenschein M, Thali MJ, Aghayev E, Yen K, Dirnhofer R, et al. Intrahepatic gas at postmortem Computed Tomography: Forensic experience as a potential guide for In vivo trauma imaging. *J Trauma* 2007; 62: 979-88.
25. Weitzman D. Post-mortem coronary arteriography and its correlation with electrocardiography. *Heart* 1964; 26: 330-6.
26. Grabherr S, Djonov V, Yen K, Thali MJ, Dirnhofer R. Postmortem angiography: review of former and current methods. *AJR* 2007; 188: 832-8.

27. Rah BR, Katz RJ, Wasserman AG, Reiner JS. Post-mortem three-dimensional reconstruction of the entire coronary arterial circulation using electron-beam computed tomography. *Circulation* 2001; 104: 3168.

28. Aghayev E, Sonnenschein M, Jackowski C, Thali M, Buck U, Yen K. Postmortem radiology of fatal hemorrhage: measurements of cross-sectional areas of major blood vessels and volumes of aorta and spleen on MDCT and volumes of heart chambers on MRI. *AJR* 2006; 187: 209-15.

29. Bisset RAL, Thomas NB, Turnbull IW, Lee S. Postmortem examinations using MRI: four year review of a working service. *BMJ* 2002; 324: 1423-4.

30. Roberts ISD, Benbow EW, Bisset R, Jenkins JPR, Lee SH, Reid H, et al. Accuracy of MRI in determining cause of sudden death in adults: comparison with conventional autopsy. *Histopathology* 2003, 42: 424-30.

31. Weustink AC, Hunink MGM, van Dijke CF, Renken NS, Krestin GP, Oosterhuis JW. Minimally invasive autopsy: An alternative to conventional autopsy. *Radiology* 2009; 250: 897-904.

32. O'Donnell C, Woodford N. Post-mortem radiology: A new subspeciality? *Clinical Radiology* 2008; 63: 1189-94.

33. Farkash U, Scope A, Lynn M, Kugel C, Maor R, Abargel A, Eldad A. Preliminary experience with postmortem Computed Tomography in military penetrating trauma. *J Trauma* 2008; 48(2): 303-9.

