

Virtopsia®.

Radiología en medicina forense



Traducido por:

ANDREA PAOLA NAJAR CÉSPEDES*

Traducido de **Virtopsy®. Radiology in Forensic Medicine.** Grabherr, S., Stephan, B. A., Buck, U., Näther, S., Christe, A., Oesterhelweg, L., Ross, S., Dirnhofer, R. and Thali, M. J. (2007). *Imaging Decisions MRI*, 11: 2-9. doi: 10.1111/j.1617-0830.2007.00086.x**

Resumen

Durante los últimos años, técnicas modernas en imagenología han sido pioneras en medicina forense. La resonancia magnética y, especialmente, la tomografía computarizada multicorte están incrementando su implementación en las evaluaciones post mortem. Estas técnicas no invasivas pueden aumentar su uso, y eventualmente, reemplazar la autopsia tradicional. Adicional a las técnicas radiológicas, los métodos para escanear superficies en tres dimensiones y la fotogrametría son usados para la documentación de los hallazgos externos del cuerpo. Para realizar una autopsia mínimamente invasiva, otras herramientas han sido desarrolladas, tales como la biopsia y la angiografía post-mortem. Análogo al uso clínico de la biopsia y la angiografía, estas técnicas permitirán tomar muestras de tejido post-mortem, para posteriores análisis, y evaluar el sistema vascular. Con el uso de estos métodos, se puede realizar una documentación de casos forenses independiente del investigador, de forma objetiva y mínimamente invasiva que contribuya a mejorar la calidad de las investigaciones en patología forense.

Palabras clave:

Radiología Post-Morten, Tomografía Computarizada, Autopsia Virtual, Radiología Forense, Autopsia Mínima Invasiva, Escáneo de Superficie.

* Andrea Paola Najar Céspedes es bacteriologa de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Magíster en Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia. Docente investigadora de la Fundación Universitaria del Área Andina.

anajar@areandina.edu.co

** Silke Grabherr, M.D. Center of Forensic Imaging, Institute of Forensic Medicine, University of Bern, IRM - Buehlstrasse 20, CH - 3012 Bern, Switzerland Tel: +41 31 631 8411; Fax: +41 31 631 3833.

silke.grabherr@chuv.ch

Los colaboradores del artículo pertenecen al Institute of Diagnostic Radiology, University of Bern, Bern, Switzerland.

Virtopsy®.

Radiology in Forensic Medicine

Summary

During the last few years, modern cross-sectional imaging techniques have pioneered forensic medicine. Magnetic resonance imaging and especially multislice computed tomography are becoming increasingly implemented into post-mortem examinations. These non-invasive techniques can augment and even partially replace a traditional autopsy. Beside the radiological imaging techniques, the methods of three-dimensional surface scanning and photogrammetry are used for the documentation of the external findings of the body. To realize the goal of a minimal-invasive autopsy, other tools like post-mortem biopsy and post-mortem angiography have been developed. In analogy to the clinical use of biopsy and angiography these techniques will permit post-mortem tissue sampling for further analyses and enable post-mortem examinations of the vascular system. With the use of these methods, a minimally invasive, objective and investigator-independent documentation of forensic cases can be realized to reach quality improvements in forensic pathological investigations.

Key words:

Post-mortem radiology; computed tomography; virtual autopsy; forensic radiology; minimal-invasive autopsy; surface scanning.

Introducción

Muchas de las ciencias forenses, tales como la genética y la toxicología forense, ya han implementado técnicas modernas, las cuales están revolucionando estos campos. En contraste con esto, la medicina forense aún utiliza métodos basados en evidencia introducidos desde hace siglos. El estándar de oro para examinar una persona fallecida es abrir el cadáver, realizar una descripción oral exacta y una documentación escrita (1). Los hallazgos internos y externos importantes son documentados por fotografía convencional de dos dimensiones. Infortunadamente, en muchos de los casos, después de esta observación subjetiva y dependiente del observador no hay oportunidad de repetir un examen porque el cuerpo ha sido cremado. Por lo tanto, los hallazgos que no han sido documentados son irrevocablemente destruidos.

Adicional al examen de personas fallecidas, la medicina forense tiene otro objetivo, que es el de documentar, analizar y juzgar hallazgos médicos de personas vivas. En este campo, son utilizados los mismos métodos de documentación y descripción empleados en la autopsia clásica. Parece que el rápido desarrollo de la medicina moderna ha pasado por la medicina forense sin una influencia relevante. A pesar de que algunos autores como Brogdon (2) y Vogel (3) han mencionado la utilidad de la radiología en medicina forense, las herramientas radiológicas no han encon-

trado su puesto en la rutina de la medicina forense durante mucho tiempo.

Sólo en casos especiales, las técnicas radiológicas como la radiología convencional y la tomografía computarizada (TC) son usadas en el contexto forense, por ejemplo, para demostrar heridas por arma de fuego (4) y con el fin de encontrar drogas escondidas en las cavidades corporales de los llamados “embaladores” (5, 6).

En 1977, se realizó la primera TC post-mortem para describir una herida por arma de fuego en la cabeza (6). En los siguientes años, pocos artículos aparecieron comparando los hallazgos de la autopsia con los de la TC post-mortem (7). Con la invención de la TC helicoidal en 1989 (8), se hizo posible la reconstrucción tridimensional de los datos. Esta herramienta fue utilizada para asuntos forenses (9-11), pero su aplicación no incrementó mucho el uso de técnicas radiológicas en medicina forense.

La resonancia magnética (RM) también se ha utilizado en personas fallecidas, lo que ha hecho posible las correlaciones entre la autopsia y la imagen en sección transversal (12-18).

El examen de cuerpo completo, previo a la autopsia, con la tomografía computarizada multicorte (TCM) y la resonancia magnética (RM), y la comparación de estas técnicas imagenológicas de corte transversal con los resultados de la autop-

sia convencional es parte del trabajo realizado dentro del proyecto Virtopsia® en el Instituto de Medicina forense en Berna, Suiza (<http://www.virtopsy.com>). Como el nombre “Virtopsia” (significa “virtual” y “autopsia”), este proyecto tiene como objetivo desarrollar y validar nuevos enfoques que permitan una autopsia “virtual” mínimamente invasiva (19-21). Los estudios realizados por este proyecto fueron aprobados por el Departamento de Justicia local y el Comité de Ética de la Universidad de Berna. Debido a la estrecha colaboración con los Institutos Radiológicos en Berna, un equipo de especialistas forenses y radiólogos está trabajando en la comparación sistemática de los hallazgos radiológicos y los obtenidos por las autopsias tradicionales.

En colaboración con la policía, la digitalización óptica de superficie en 3D y la fotogrametría son aplicadas en algunos casos forenses (21-23) y los datos de todas las técnicas realizadas son combinados para resolver casos forenses (24).

Otras aplicaciones adicionales que también se han implementado en el proyecto Virtopsia® son la biopsia post-mortem (25), angiografía post-mortem (26-29), Micro-RM (30, 31), Micro-TC (32, 33) y RM-espectroscopia (34).

En este artículo, se describen y se mencionan las indicaciones de las herramientas más frecuentemente utilizadas en la medicina forense, a saber: tomografía compu-

tarizada multicorte, resonancia magnética, fotogrametría y el escaneo de superficie en 3D.

Principales herramientas en Virtopsia®

Tomografía computarizada (TC)

En el proyecto Virtopsia®, la TCM es la herramienta más utilizada. El Instituto de Medicina Legal en Berna posee un escáner detector de seis filas (Emotion 6, Siemens Medical Systems, Erlangen, Alemania), por lo tanto, este tipo de imágenes de corte transversal hace parte de la rutina diaria en Berna. En la actualidad, más de 200 casos han sido sometidos a una TCM antes de la autopsia y estos resultados fueron comparados con los resultados de la autopsia realizada por patólogos forenses y radiólogos certificados, de acuerdo a los parámetros del Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas (35, 36). Para evitar la contaminación de los equipos de radiología, facilitar el transporte del cuerpo y proteger la identidad de la persona fallecida durante un examen post-mortem, cada cuerpo estaba envuelto en dos bolsas para cadáveres libres de artefactos. Los exámenes de cuerpo completo fueron hechos con un escáner de cuatro o seis filas de detectores. El espesor de corte fue de 1,25 mm y el incremento de reconstrucción fue de 0,7 mm en tejidos blandos y centros óseos. Las regiones de interés especial, como fracturas o dientes, fueron escaneados con un

espesor de corte de 0,63 mm y un incremento de 0,5 mm. De acuerdo con los resultados obtenidos, TCM es una excelente herramienta para potenciar la autopsia tradicional y puede, en el futuro, reemplazarla en ciertos casos. La principal ventaja de un análisis por TCM previo a la autopsia es que proporciona información adicional a la autopsia tradicional. Esta puede ser resumida y dividida en las siguientes tres ventajas: (1) la detección y demostración de las fracturas, (2) la detección de cuerpos extraños, y (3) la detección de gas en el interior del cuerpo.

Detección y demostración de fracturas:

análogo: a la radiología clínica, el diagnóstico de una fractura se puede realizar en las imágenes de corte transversal. La forma y el patrón de una fractura son extremadamente importantes en medicina forense, ya que pueden dar pistas sobre el origen de un trauma. En cuanto a una reconstrucción en 3D, esta puede ser muy útil para saber de qué lado se produjo el impacto para ocasionar la fractura. También es posible obtener información adicional sobre el instrumento que causó la lesión. Una gran ventaja de los modelos en 3D de la fractura es que dan un buen panorama de las lesiones óseas y las muestra de una forma fácil de entender, incluso para los abogados médicos (Figura 1a, b). Esto puede facilitar la colaboración entre médicos forenses, la policía y la justicia.

Adicionalmente, fracturas pequeñas que pueden ser pasadas por alto en la autop-

sia, como las fracturas transversales o costales de la columna vertebral, pueden ser fácilmente detectadas sobre los datos de la TC (Figura 1c).

Detección de cuerpos extraños:

el metal es fácilmente detectado y localizado en un cuerpo, porque este posee una mayor absorción de rayos X en comparación con el hueso y el tejido blando. En medicina forense, este hecho es útil por múltiples razones. En los casos de disparos, una evaluación por TCM puede mostrar los proyectiles que quedan en el cuerpo (Figura 2a). Para la reconstrucción de homicidios y suicidios, una localización exacta de las balas, es de gran ayuda. Sin embargo, algunas veces estos hallazgos son difíciles de encontrar con una autopsia tradicional, especialmente si la bala se ha desintegrado en el interior del cuerpo (Figura 2b). Otros cuerpos extraños, tales como implantes médicos, también se pueden detectar fácilmente con un examen por TCM (Figura 3a). A menudo, estos objetos son de gran interés forense, por ejemplo, para evaluar la correcta colocación de este tipo de implantes dentro del cuerpo en denuncias por mala práctica. Por otra parte, además de los asuntos forenses ya mencionados, la localización y detección de implantes se utiliza para identificar un cuerpo. Los datos de la exploración por TCM pueden ser comparados con radiografías ante-mortem de la persona fallecida. Los implantes médicos más utilizados son los implantes dentales (Figura 3b). Un perfil dental completo

hecho con TCM es posible mediante la creación de imágenes panorámicas dentales (Figura 3b), las cuales pueden ser comparadas con los datos del odontólogo de la persona fallecida (37-39).

Detección de aire: en la autopsia tradicional, la búsqueda de una embolia por aire o un neumotórax es bastante difícil. En este último caso, se tiene que hacer

una “ventana pleural”, removiendo la piel y apartando los músculos intercostales del tórax. Si los pulmones pasan a estar al nivel de las costillas, un neumotórax puede ser descartado. El procedimiento para confirmar una embolia aérea es aún más complicado. Después de abrir el pericardio, el espacio pericárdico debe ser llenado de agua, cubriendo por completo el corazón. El ventrículo derecho es per-

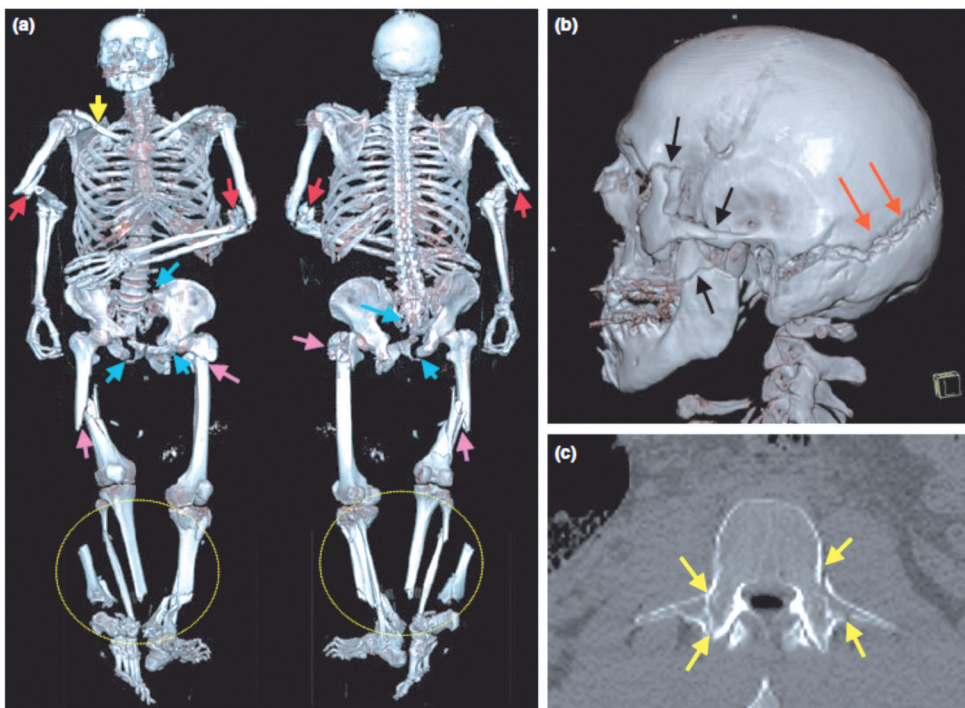


Figura 1. Reconstrucción en 3D a partir de los datos de TC de un piloto, quien murió en un accidente aéreo. **(a)** Perspectiva del esqueleto completo visto de frente y por atrás, mostrando múltiples fracturas: fractura de la clavícula derecha (flecha amarilla), de los húmeros (flechas rojas), de la pelvis (flechas azules), fracturas de ambos fémures (flechas violeta), y múltiples fracturas de tibia y peroné (circulo amarillo). **(b)** Modelo en 3D del cráneo, mostrando múltiples fracturas viserocraneanas (flechas negras) y una fractura que provocó la dislocación de la sutura temporal (flechas rojas). **(c)** Imagen transversal a nivel de la espina lumbar mostrando la primera vertebra con fracturas (flechas) de ambos procesos transversales.

forado con un bisturí y hundido dentro de la herida. Si esta acción produce burbujas ascendentes de aire, se confirma la sospecha de embolia por aire.

Con el uso de TCM post-mortem, el gas puede ser detectado fácilmente, ya que este no absorbe los rayos X. Por lo tanto, un neumotórax puede ser localizado fácilmente (19), un embolismo aéreo puede ser detectado y hasta cuantificado usando TCM post-mortem (40).

Resonancia magnética

En el Instituto de Radiología Diagnóstica del Hospital Universitario de Berna, la RM de las personas fallecidas se lleva a cabo en un sistema de 1,5 T (Signa v5.8, GE Medical Systems, Milwaukee, WI, EE.UU.). Para ello, los cuerpos son envueltos en dos bolsas para cadáveres, antes del examen. Se proceden a escanear cabeza, tórax y abdomen, y, según el caso, otras zonas del cuerpo (por ejemplo, extremidades lesionadas). Con la ponderación de contraste diferentes se adquieren las imágenes coronal, sagital y axial (T1

66

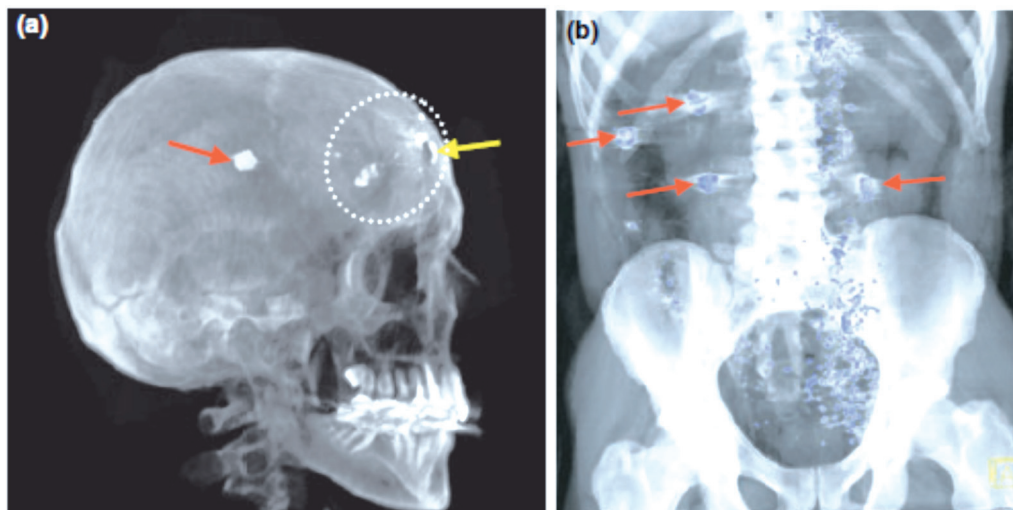
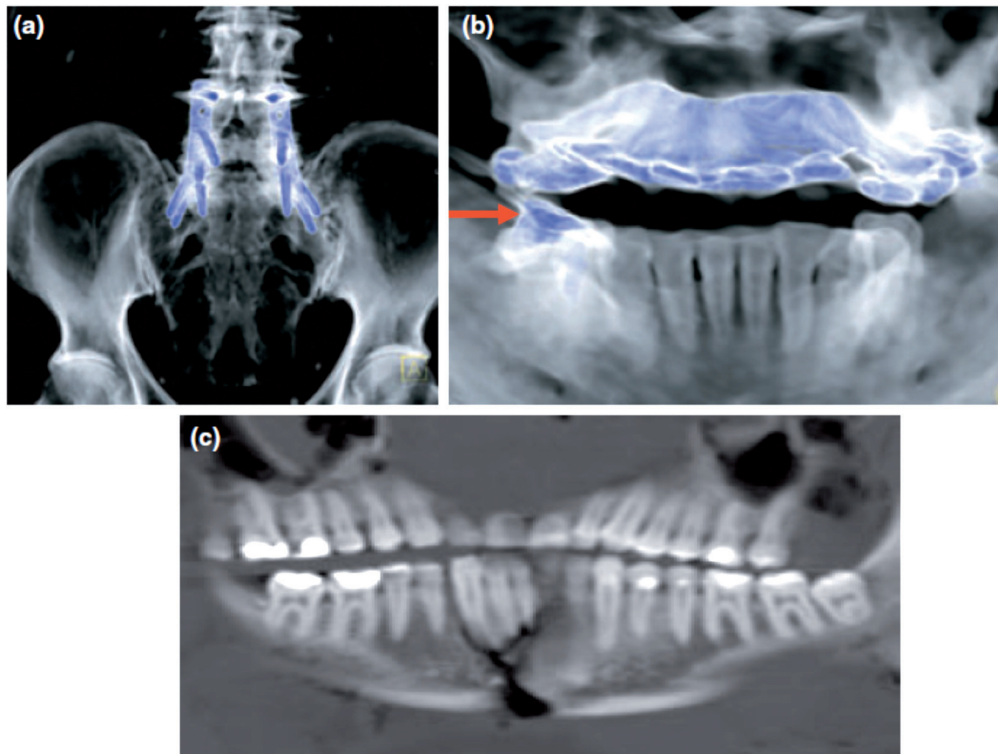


Figura 2. Reconstrucción en 3D a partir de los datos de TC de víctimas por herida de bala. **(a)** Reconstrucción de un cráneo mostrando el proyectil al interior de la cabeza (flecha roja). En la frente, es visible un defecto circular en el hueso (flecha amarilla), causado por la entrada de la bala. Este defecto está rodeado por pequeños fragmentos metálicos que son visibles como partículas radio-opacas (círculo punteado).

(b) Reconstrucción en 3D del abdomen de una víctima por herida de bala, mostrando partículas metálicas en azul. Aparte de las 4 balas (flechas rojas), son visibles en frente de la columna vertebral, numerosos fragmentos de proyectiles deformados.

spin-eco y T2-ponderados rápido spin-echo secuencias con y sin saturación de grasa, turbo secuencias de recuperación de la inversión y las secuencias de eco de gradiente). Cuando se esperan encontrar hallazgos cardíacos, se adquieren imágenes de los ejes corto, horizontal y vertical del corazón. El rango de los tiempos de adquisición es de 1,5 a 3,5 h.

Similar a la RM clínica, la medicina forense también está utilizando esta herramienta para detectar hallazgos patológicos de los tejidos blandos, como grasa subcutánea (41) y de los órganos internos (12-19, 42, 43). Del mismo modo, mediante el uso de RM con TCM se pueden detectar hemorragias fatales (44) e hipotermia (45). Una aplicación especial de la RM es



67

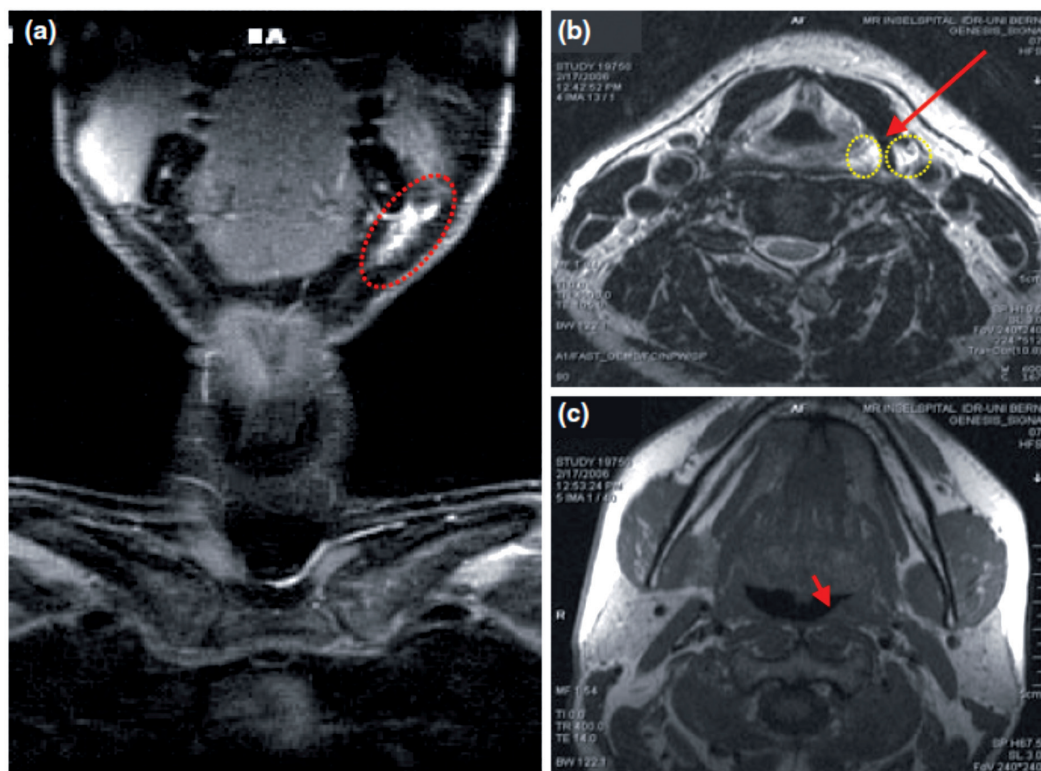
Figura 3. Reconstrucción por TC usada para identificaciones de cuerpos.

(a) Reconstrucción en 3D de la espina y la pelvis mostrando un implante metálico para la estabilización dorsal de la espina. Dada su alta densidad, el metal es coloreado de azul. **(b)** Reconstrucción en 3D del cráneo evidenciando prótesis dentales, las cuales aparecen en azul. También se observan calzas de los molares inferiores. **(c)** Panorama dental, reconstruido por datos de TC, muestra diferentes calzas, las cuales aparecen iluminadas dado su alta radio-opacidad.

la estrangulación fatal en ahorcados (46, 47). Esta técnica se usa como una herramienta adicional para el examen externo de víctimas que sobrevivieron a la estrangulación, debido a que ésta no es invasiva y a que el examen no requiere exposición a radiación (Figura 4a-c) (46).

Fotogrametría digital y escaneo de superficie en 3D

Además de las técnicas radiológicas para la documentación de los resultados internos en el proyecto Virtopsia®, la fotogrametría digital y el escaneo de superficie en 3D, se utilizan para la documentación de



68

Figura 4. Resonancia magnética de cabeza y cuello de un día después de una víctima sobreviviente a estrangulación. El examen externo no mostró hallazgos patológicos. Sin embargo, la víctima declaró dificultad al tragar. **(a)** Esta imagen transversal coronal T2 *weighted* de la cabeza y cuello mostró una hiperdensidad (círculo punteado) sobre la mandíbula en el lado izquierdo, indicando una hemorragia y edema del musculo cutáneo del cuello y del tejido subcutáneo. **(b)** Imagen transversal T2 *weighted* a nivel del cartílago tiroideo (flecha). El tejido circundante en ambos lados del asta inferior del cartílago muestra hemorragia y edema (círculo punteado). **(c)** Imagen transversal proton *weighted* T1 de la cúspide de la base de la cavidad bucal muestra una restricción (flecha) al lado izquierdo de la tráquea.

los hallazgos externos y de lesiones infligidas por instrumentos (21-24).

Para este método, en el proyecto Virtopsia®, se usa el sistema GOM TRITOP/ATOS III (GOM, Braunschweig, Alemania), el cual reproduce la geometría de un objeto en 3D, con alta resolución.

La digitalización de un objeto consiste en dos pasos. En primer lugar, la fotogrametría se realiza para predefinir puntos discretos del objeto. Por lo tanto, se aplican al objeto objetivos de referencia y marcadores de código, así como las escalas codificadas. A continuación, se toman varias imágenes desde diferentes puntos de vista. Las fotos se transfieren a la computadora y el software TRITOP calcula las coordenadas 3D de los puntos de referencia. Durante el escaneo de superficie en 3D, que constituye el segundo paso del proceso de digitalización, las exploraciones sencillas de estos puntos de referencia se combinan, de forma automática, a partir de diferentes puntos de vista alrededor del objeto, generando un conjunto completo de datos en 3D.

El escáner de superficie ATOS III consta de una unidad de proyección central y dos cámaras digitales montadas al lado del proyector. Un patrón de franjas es proyectado sobre la superficie del objeto, el cual es registrado por dos cámaras CCD. El sensor está conectado a un PC de gama alta. Todas las imágenes capturadas son inmediatamente transferidas. Basado en

el principio de triangulación, el software de escaneo ATOS calcula coordenadas 3D de hasta 4 millones de puntos de superficie por medición.

Los resultados de estos métodos de digitalización son modelos en 3D a color, basados en datos reales, de la superficie de un cuerpo, un accidente vehicular o un arma. Los modelos muestran hasta las más mínimas lesiones o defectos. Combinados con los datos radiológicos, estos modelos son empleados para reconstrucciones de accidentes y homicidios.

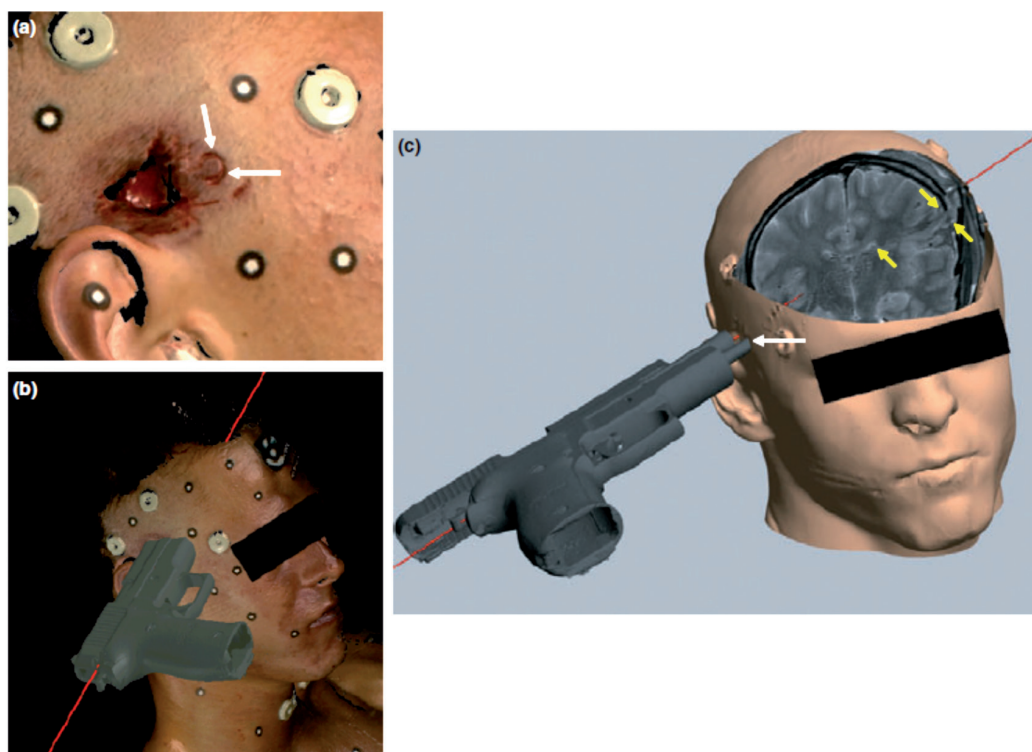
Por ejemplo, la reconstrucción basada en datos reales puede ser usada para comparar una herida de bala con una pistola, la cual se encontró en la escena del crimen (Figura 5a-c). El modelo 3D de la presunta arma puede ser combinado con el modelo de la lesión. La morfología de la lesión puede ser comparada con la figura de la pistola. Esto puede probar que la pistola es el objeto causante del daño y también revela la posición exacta de la pistola en el momento del disparo (Figura 5). Esta situación es importante, especialmente, en casos donde se sospecha un suicidio.

En accidentes de tránsito, las reconstrucciones de la evolución de un accidente, especialmente la situación de impacto, se puede realizar mediante la comparación de las lesiones de la persona y los defectos de los vehículos, mediante el uso de los datos 3D de superficie (Figura 6). Esta

herramienta es muy útil para la reconstrucción de accidentes de tránsito complicados (24), donde una autopsia tradicional difícilmente conduce a una solución del caso.

Tendencias en radiología forense

Desde el inicio del proyecto “Virtopsia®”, en el año 2000, se ha acumulado una gran cantidad de experiencia utilizando la radiología en el ámbito de la medicina fo-



70

Figura 5. Reconstrucción de una herida por bala en un caso de suicidio mediante el uso de modelos 3D a partir de la fotogrametría y el escaneo por superficie.

- (a) El modelo coloreado en 3D de la cabeza por fotogrametría muestra una herida de bala en el temporal derecho con un orificio de entrada (flechas blancas). (b) La combinación del modelo del arma sospechosa con el del orificio de entrada permite evaluar la posición exacta del arma. El trayecto del proyectil es mostrado por la línea roja. (c) Fusión de la RM con los datos de superficie. La imagen coronal T2 *weighted* representa el cerebro (flechas amarillas) en la trayectoria de la bala (línea roja). Desde este punto de vista, se puede observar que la cara del arma se pone exactamente en la marca visible sobre la piel (flecha blanca). La posición del arma es típica de un suicidio.

rense, demostrando así tanto el potencial como las limitaciones del proyecto. Un aspecto vital de este proyecto es la estrecha colaboración entre los patólogos forenses y los radiólogos. La aplicación de TC y RM antes de la autopsia, puede aportar grandes ventajas. En la mayoría de nuestros casos y mediante el uso de estas dos herramientas, la causa de muerte fue detectada antes de la autopsia. En la actualidad, todavía es necesario probar cada hallazgo radiológico,

comparándolo con los resultados de la autopsia tradicional —el estándar de oro actual— para evaluar los nuevos métodos imagenológicos. La fotogrametría y el escaneo de superficie en 3D, ya tienen utilidad en la corte, donde han sido aceptadas.

Otras herramientas de Virtopsia® también han despertado interés en los departamentos de policía y justicia, quienes están dispuestos a implementar estos nuevos

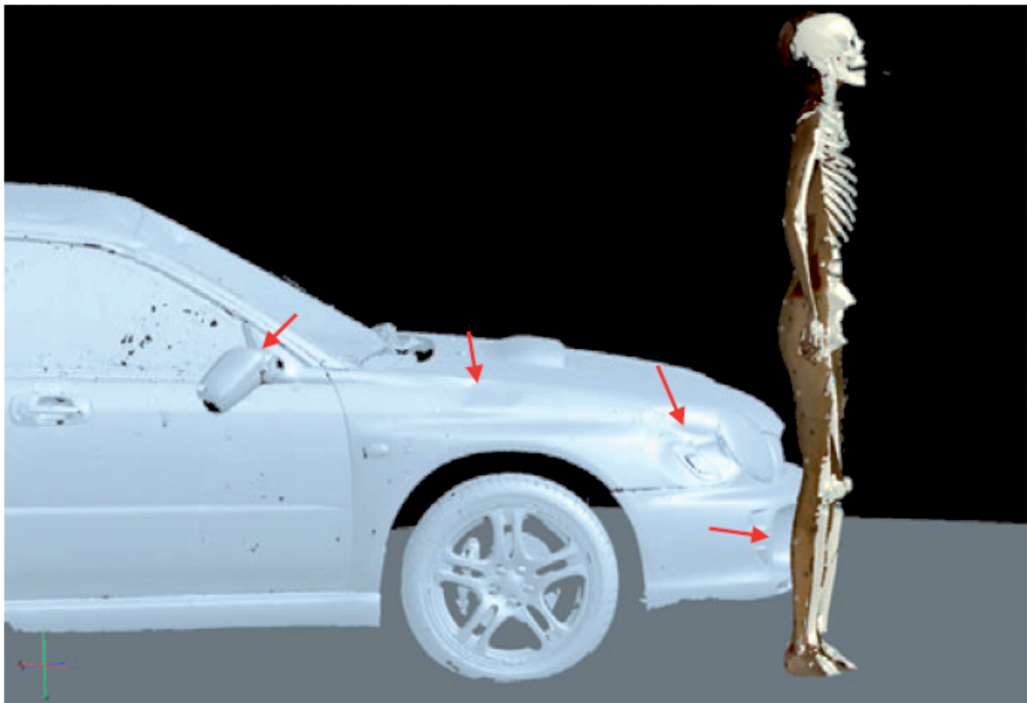


Figura 6. Reconstrucción de un accidente de tránsito en el cual un peatón murió atropellado por un automóvil. Esta imagen muestra la reconstrucción resultante del momento del impacto. Los daños externos del cuerpo y del vehículo fueron obtenidos por escaneo de superficie, y los hallazgos internos por TCM y RM. El modelo 3D del esqueleto, generado por TCM, y el modelo 3D de la superficie del cuerpo (visible en la parte posterior de la persona) fueron comparados con los daños del vehículo (flechas), los cuales fueron reportados por escaneo de superficie del automóvil.

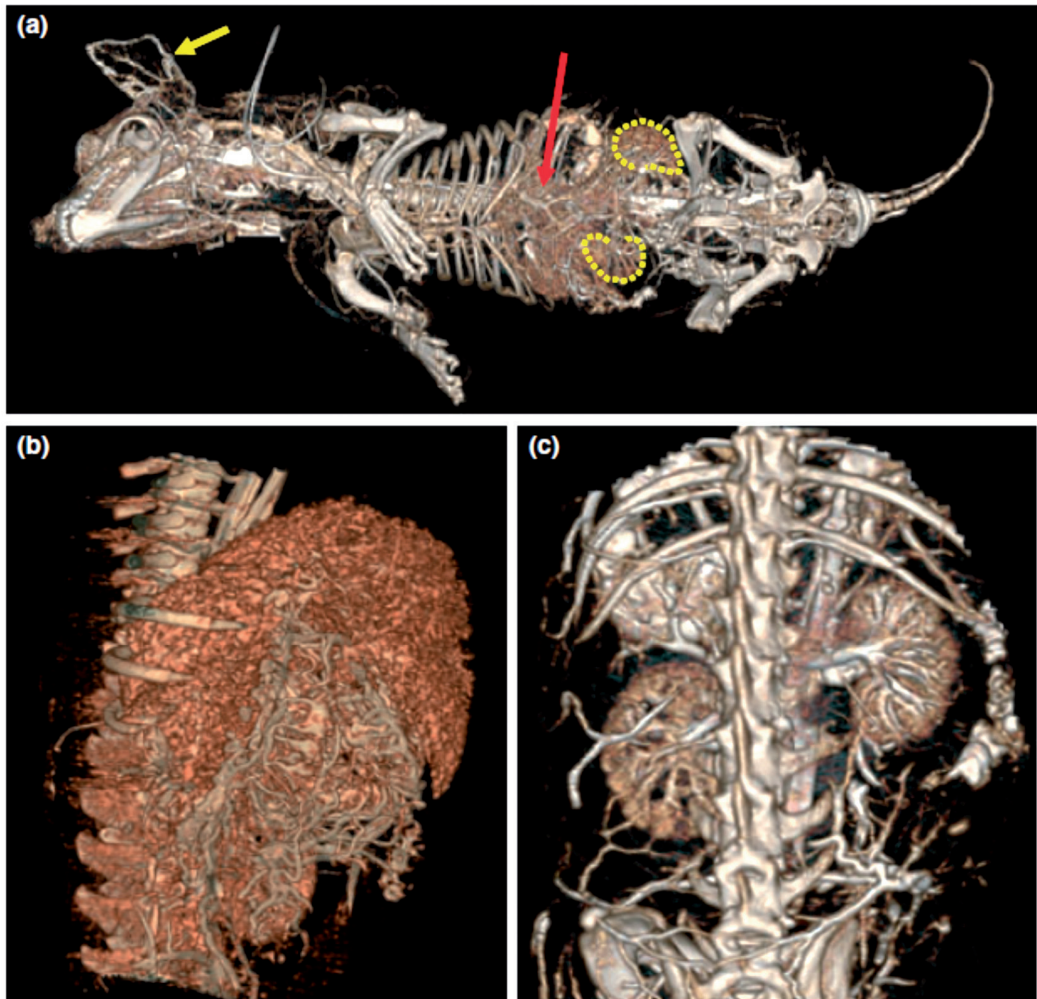


Figura 7. Reconstrucciones en 3D de angiografía dinámica post-mortem de un perro, 3 días después del deceso, usando una perfusión de aceite y liopiodol®, como medio de contraste. **(a)** Tres minutos después de la inyección del medio de contraste, los vasos periféricos de la cabeza fueron llenados [flecha amarilla: vasos del oído], los riñones son mostrados en fase parenquimatosa [círculos punteados]. El hígado ha alcanzado la fase venosa con demostración de las venas [flecha roja]. **(b)** Demostración detallada de la vascularización del hígado y los vasos mesentéricos a partir de la TCM, realizada dos minutos después de la aplicación del medio de contraste. **(c)** Esta vista posterior, muestra la vascularización de los riñones tres minutos después de la inyección del medio de contraste.

métodos en el manejo de sus casos. Ya es rutinario que se soliciten reconstrucciones en 3D de los datos obtenidos por TCM y exámenes de RM de los sobrevivientes de estrangulación.

Los grupos de trabajo como Virtopsia® no sólo existen en Suiza. Actualmente, otros institutos están trabajando en la aplicación de la RM y la TCM en medicina forense. Por ejemplo, la Oficina Médico Forense de las Fuerzas Armadas (Washington DC, Dover, Del), el Instituto de Medicina Forense de Copenhague, Dinamarca (48) y el Instituto de Patología de Victoria en Sydney, Australia, ya han instalado sus propios escáneres TC. En Japón, la Sociedad para Imágenes de Autopsia fue fundada en 2003.

Con el desarrollo de técnicas radiológicas, como la matriz de imagen total en resonancia magnética, la cual reduce los tiempos de examen forense por RM, estas herramientas serán cada vez más fáciles de implementar en la rutina diaria de la medicina forense. Herramientas adicionales, como la angiografía post-mortem, también se aplican en el proyecto Virtopsia®. Los primeros estudios muestran resultados prometedores que permiten mostrar el sistema vascular, lo cual es imposible realizar mediante una autopsia tradicional (Figura 7a-c). El desarrollo de la biopsia y angiografía post-mortem junto con la RM y la TCM marcarán nuevas tendencias hacia una autopsia mínimamente invasiva. Diferente a las imágenes de sección transversal

antes de la autopsia, una autopsia mínimamente invasiva tiene el potencial, en el futuro, de reemplazar a la autopsia tradicional. Sobre todo en ciertos círculos culturales, donde una autopsia se estigmatiza o, incluso, se prohíbe; una autopsia virtual mínimamente invasiva podría ayudar al sistema judicial, sin violar prohibiciones religiosas. La gran ventaja de la TCM en la identificación de cuerpos es también útil en la identificación de víctimas de catástrofes (49).

Conclusión

La radiología ha entrado en el campo de la medicina forense. Las instituciones están trabajando en la evaluación de TCM y la aplicación de RM en asuntos forenses. Mediante la combinación de imágenes radiológicas con la fotogrametría y el escaneo de superficie en 3D, ahora es posible lograr una documentación objetiva, exacta, externa e interna de un cuerpo. Esta información permite la realización de reconstrucciones detalladas. El desarrollo y la aplicación de herramientas adicionales como la biopsia y la angiografía post-mortem darán lugar a una autopsia mínimamente invasiva que la cual tiene el potencial de, en algunos casos, reemplazar a la autopsia tradicional.

Referencias bibliográficas

1. Lundberg GD. (1998). Low-tech autopsies in the era of high-tech medicine: continued value for quality assurance and patient safety. *JAMA*. 280: 1273-1274.

2. Brogdon BG. (1998). *Forensic Radiology*. CRC, Boca Raton, FL.
3. Vogel H. (1997). Gewalt im Röntgenbild: Befunde bei Krieg, Folter und Verbrechen. *Echomed*. 41: 13-42.
4. Beck NE, Hale JE. (1993). Cocaine "body packers". *Br J Surg*. 80: 1513-1516.
5. Hergan K, Kofler K, Oser W. (2004). Drug smuggling by boy packing: what radiologists should know about it. *Eur Radiol*. 14: 736-742.
6. Wu'llenweber R, Schneider V, Grumme T. (1977). Computertomographische Untersuchungen bei Schädel-Schuss-Verletzungen. *Z Rechtsmed*. 80: 227-246.
7. Schumacher M, Oehmichen M, König HG, et al. (1983). Intravital and postmortal CT examinations in cerebral gunshot injuries. *Rofo*. 139: 8-63.
8. Kalender WA, Seissler W, Klotz E et al. (1990). Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport and continuous scanner rotation. *Radiologe*. 176: 181-183.
9. Donchin Y, Rivkind AI, Bar-Ziv J et al. (1994). Utility of post-mortem computed tomography in trauma victims. *J Traum*. 37: 552-555.
10. Oliver WR, Chancellor AS, Soltys M et al. (1995). Three-dimensional reconstruction of a bullet path: validation by computed radiography. *J Forensic Sci*. 40: 321-324.
11. Farkash U, Scope A, Lynn M et al. (2000). Preliminary experience with postmortem computed tomography in military penetrating trauma. *J Trauma*. 48: 303-308.
12. Bisset R. (1998). Magnetic resonance imaging may be alternative to necropsy. *BMJ*. 317: 1450.
13. Bisset R, Thomas NB, Turnbull IW et al. (2002). Postmortem examinations using magnetic resonance imaging: four year review of a working service. *BMJ*. 324: 1423-1424.
14. Brookes JA, Hall-Craggs MA, Sams VR et al. (1996). Non-invasive perinatal necropsy by magnetic resonance imaging. *Lancet* 348: 1139-1141.
15. Hart BL, Dudley MH, Zumwalt RE. (1996). Postmortem cranial MRI and autopsy correlation in suspected child abuse. *Am J Forensic Med Pathol*. 17: 217-224.
16. Woodward PJ, Sohaey R, Harris DP et al. (1997). Postmortem fetal MR imaging: comparison with findings at autopsy. *Am J Roentgenol*. 168: 41-46.
17. Ros PR, Li KG, Vo P et al. (1990). Preautopsy magnetic resonance imaging: initial experience. *Magn Reson Imaging*. 8: 303-308.
18. Patriquin L, Kassirjian A, Barish M et al. (2001). Post-mortem whole-body magnetic resonance imaging as an adjunct to autopsy: preliminary clinical experience. *J Magn Reson Imaging*. 13: 277-287.
19. Athali MJ, Yen K, Schweitzer W et al. (2003). Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)-a feasibility study. *J Forensic Sci*. 48: 386-403.
20. Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P et al. (2006). VIRTOPSY: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *RadioGraphics*. 26: 1305-1333.
21. BThali MJ, Braun M, Markwalder TA et al. (2003). Bite mark documentation: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach. *Forensic Sci Int*. 135: 115-121.
22. Thali MJ, Braun M, Wirth J et al. (2003). 3D surface and body documentation in forensic medicine: 3-D/CAD Photogrammetry merged with 3D radiological scanning. *J Forensic Sci*. 48: 1356-1365.
23. Thali MJ, Braun M, Buck U et al. (2005). VIRTOPSY: scientific documentation, reconstruction and animation in forensics:

- individual and real 3D data based geometric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. *J Forensic Sci.* 50: 428-442.
24. **Buck U, Naether S, Braun M et al.** (2006). Application of 3D documentation and geometrical reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation. *Forensic Sci Int.* Sept. 22 [Epub ahead of print].
 25. **Aghayev E, Thali MJ, Sonnenschein M et al.** (2006). Post-mortem tissue sampling using computed tomography guidance. *Forensic Sci Int.* Jun. 27 [Epub ahead of print].
 26. **Jackowski C, Sonnenschein M, Thali MJ et al.** (2005). Virtopsy: postmortem minimally invasive angiography using cross section techniques - implementation and preliminary results. *J Forensic Sci.* 50: 1157-1186.
 27. **Jackowski C, Bolliger S, Aghayev E et al.** (2006). Reduction of postmortem angiography-induced edema by using polyethylene glycol as a contrast-agent dissolver. *J Forensic Sci.* 51: 1134-1137.
 28. **Grabherr S, Djonov V, Friess A et al.** (2006). Postmortem angiography after vascular perfusion with diesel oil and a lipophilic contrast agent. *Am J Roentgenol.* 187: W515-W523.
 29. **Grabherr S, Djonov V, Yen K, et al.** (2007). Post-mortem angiography: a review of former and current methods. *AJR.* 188: 832-838.
 30. **Johnson GA, Benveniste H, Black RD et al.** (1993). Histology by magnetic resonance microscopy. *Magn Reson Q.* 9: 1-30.
 31. **Thali MJ, Dirnhofer R, Becker R et al.** (2004). Is 'virtual histology' the next step after 'virtual autopsy'? Magnetic resonance microscopy in forensic medicine. *Magn Reson Imaging.* 22: 1131-1138.
 32. **Engelke K, Karolczak M, Lutz A et al.** (1999). Micro CT: Technologie und Applikation zur Erfassung der Knochenstruktur. *Radiology.* 39: 203-212.
 33. **Thali MJ, Taubenreuther U, Karolczak M et al.** (2003). Forensic microradiology: micro-computed tomography (Micro-CT) and analysis of patterned injuries inside of bone. *J Forensic Sci.* 48: 1336-1342.
 34. **Scheurer E, Ith M, Dietrich D et al.** (2005). Statistical evaluation of time-dependent metabolite concentrations: estimation of post-mortem intervals based on in situ 1H-MRS of the brain. *NMR Biomed.* 18: 163-172.
 35. **Woodward PJ, Sohaey R, Kennedy A et al.** (2005). From the archives of the AFIP: a comprehensive review of fetal tumors with pathologic correlation. *RadioGraphics.* 25: 215-242.
 36. **Koeller KK, Rushing EJ.** (2005). From the archives of the AFIP: oligodendroglioma and its variants: radiologic-pathologic correlation. *RadioGraphics.* 25: 1669-1688.
 37. **Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M et al.** (2005). Maximum intensity projection of cranial computed tomography data for dental identification. *Int J Legal Med.* 120: 233-240.
 38. **Thali MJ, Markwalder T, Jackowski C et al.** (2006). Dental CT imaging as a screening tool for dental profiling: advantages and limitations. *J Forensic Sci.* 51: 113-119.
 39. **Jackowski C, Lussi A, Classens M et al.** (2006). Extended CT scale overcomes restoration caused streak artifacts for dental identification in CT- 3D color encoded automatic discrimination of dental restoration. *J Comput Assist Tomogr.* 30: 510-513.
 40. **Jackowski C, Thali M, Sonnenschein M et al.** (2004). Visualization and quantification of air embolism structure by processing postmortem MSCT data. *J Forensic Sci.* 49: 1339-1342.
 41. **Yen K, Vock P, Tiefenthaler B et al.** (2004). Virtopsy: forensic trauma-tology of the

subcutaneous fatty tissue: multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) as diagnostic tools. *J Forensic Sci.* 49: 799-806.

42. **Jackowski C, Dirnhofer S, Thali M et al.** (2005). Postmortem diagnostics using MSCT and MRI of a lethal streptococcus group A infection at infancy: a case report. *Forensic Sci Int* 151: 157-163.
43. **Jackowski C, Schweitzer W, Thali MJ et al.** (2005). Virtopsy: postmortem imaging of the human heart in situ using MSCT and MRI. *Forensic Sci Int.* 149: 11-23.
44. **Aghayev E, Sonnenschein M, Jackowski C et al.** (2006). Fatal hemorrhage in postmortem radiology: measurements of cross-sectional areas of major blood vessels and volumes of aorta and spleen by MSCT and volumes of heart chambers by MRI. *Am J Roentgenol* 187: 209-215.
45. **Aghayev E, Thali MJ, Jackowski C et al.** (2007). Post-mortem MSCT and MRI in

hypothermia: benefits, limitations and new finding of hemorrhages in muscles of back. *Forensic Sci Int.* in press.

46. **Yen K, Thali M, Aghayev E et al.** (2005). Strangulation signs: initial correlation of MRI, MSCT and forensic neck findings. *J Magn Reson Imaging.* 22: 501-510.
47. **Bolliger S, Thali MJ, Jackowski C et al.** (2005). Postmortem non-invasive virtual autopsy: death by hanging in car. *J Forensic Sci.* 50: 455-460.
48. **Poulsen K, Simonsen J.** (2006). Computed tomography as routine in connection with medico-legal autopsies. *Forensic Sci Int* Aug 4 [Epub ahead of print].
49. **Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R et al.** (2006). Use of multislice computed tomography in disaster victim identification: advantages and limitations. *Forensic Sci Int.* Sept 22 [Epub ahead of print].